



# OSCILOSCOPE

- ☐ Introducere
- ☐ Osciloscopul analogic de uz general
- ☐ Osciloscoape numerice
- ☐ Concluzii



---

# Introdurre

## Osciloscopul

- aparat indispensabil în practica electronică
- aplicația principală - vizualizarea formei de variație în timp a unei tensiuni electrice (testare, analiză, diagnoză, depanare a circuitelor electrice și electronice)
- arie de utilizare extrem de largă – cu traductoare care transformă în tensiune mărimea de interes
- osciloscoapele moderne combină mai multe aparate de măsurat, fiind capabile să furnizeze o multitudine de informații asupra semnalelor analizate

### Osciloscopul

- afișează pe un ecran dependența unei tensiuni  $U_y$  de o altă tensiune  $U_x$  (**Observație:** pentru vizualizarea formei de variație în timp a tensiunii  $U_y$  tensiunea  $U_x$  este o tensiune liniar variabilă)
- afișajul - ecranul unui tub catodic sau un panou LCD/ LED/ TFT

### Osciloscopul - caracteristicile cele mai importante

- ☐ banda de frecvențe (35 MHz)
- ☐ sensibilitatea (!) (5 mV/div)
- ☐ impedanța de intrare (1 M $\Omega$  // 20 pF)

## Clasificare

Osciloscoape - două categorii mari: analogice și numerice

- Osciloscoape analogice

  - de uz general

  - cu eșantionare

  - cu memorare pe tubul catodic

- Osciloscoape numerice

  - Osciloscoape cu memorare numerică

    - (Digital Storage Oscilloscope - DSO)

  - Osciloscoape cu fosfor numeric

    - (Digital Phosphor Oscilloscope - DPO)

  - Osciloscoape numerice cu eșantionare

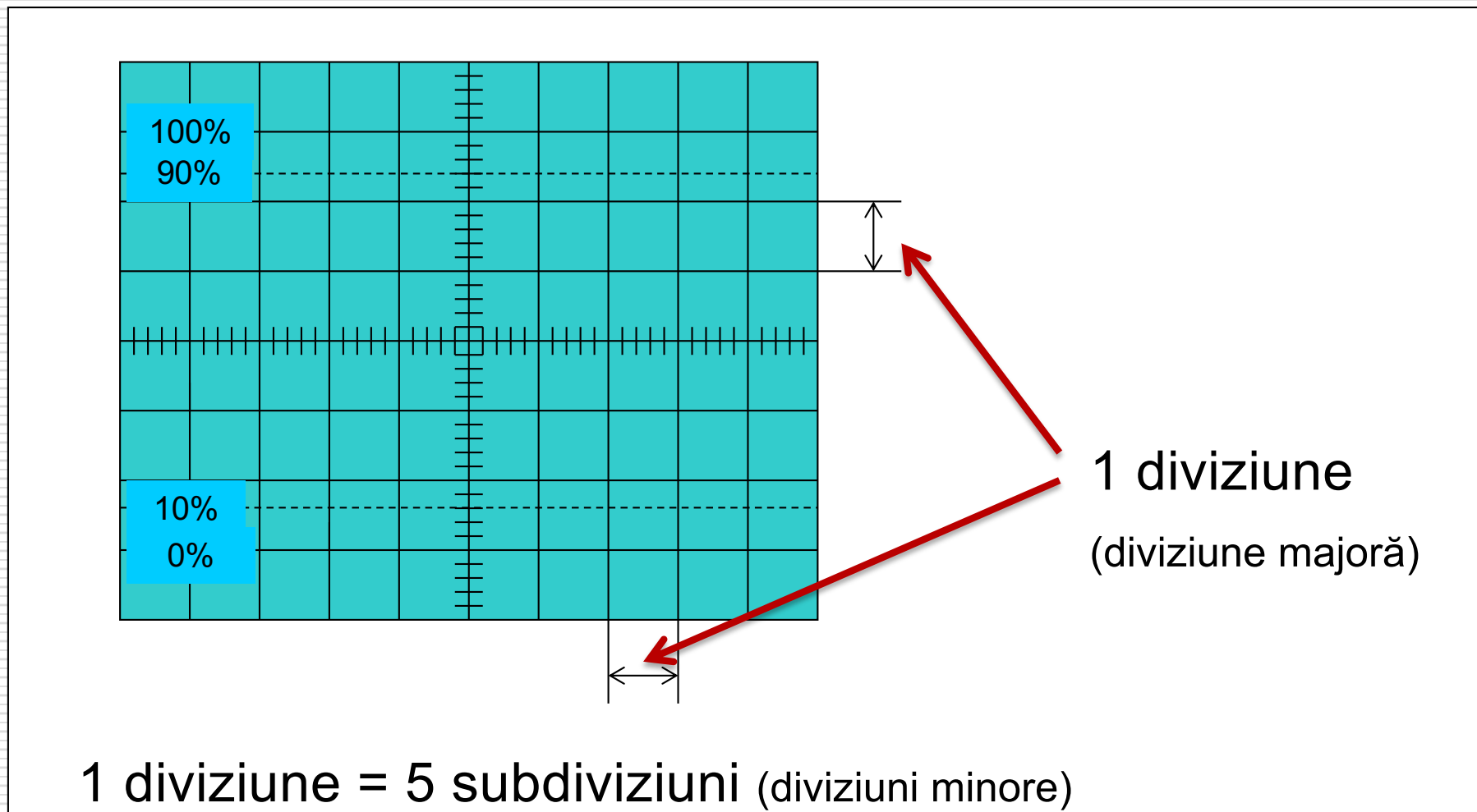
    - (Digital Sampling Oscilloscope)

### Clasificare (cont.)

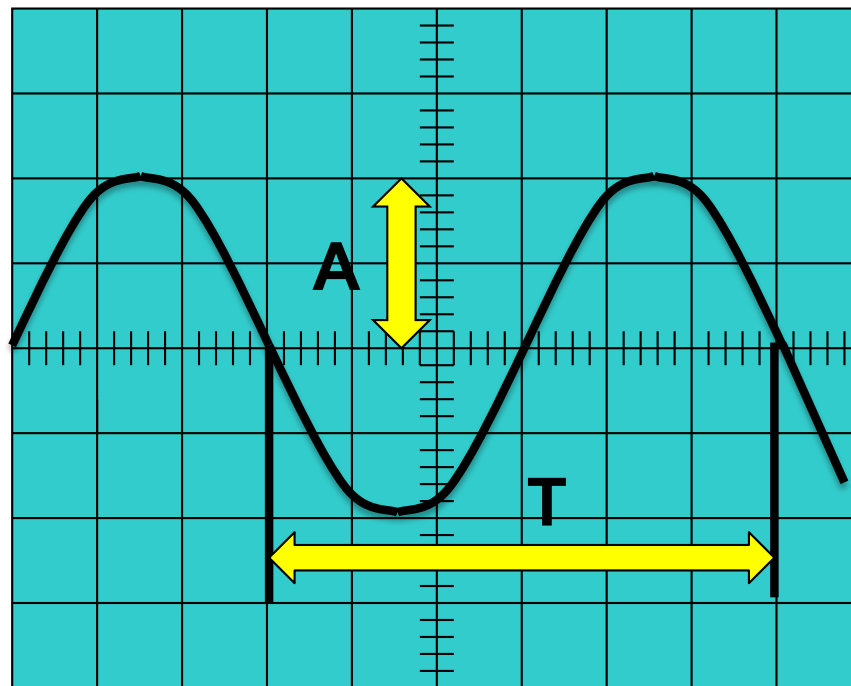
- ❑ Există osciloscoape care permit vizualizarea simultană a 2-4 semnale analogice și a unui număr de semnale numerice (de obicei 16). Aceste osciloscoape sunt cunoscute sub denumirea MSO (Mixed Signal Oscilloscope).
- ❑ Există osciloscoape care permit vizualizarea simultană a aceluiași semnal în domeniul timp (forma de undă) și în domeniul frecvență (spectrul semnalului). Aceste osciloscoape sunt cunoscute sub denumirea MDO (Mixed Domain Oscilloscope).



## Dispozitivul de afișare (ecranul) – caroiaj



### Exemple de măsurări cu osciloscopul: amplitudinea și perioada



Scara verticală 0,5 V/div

Amplitudinea

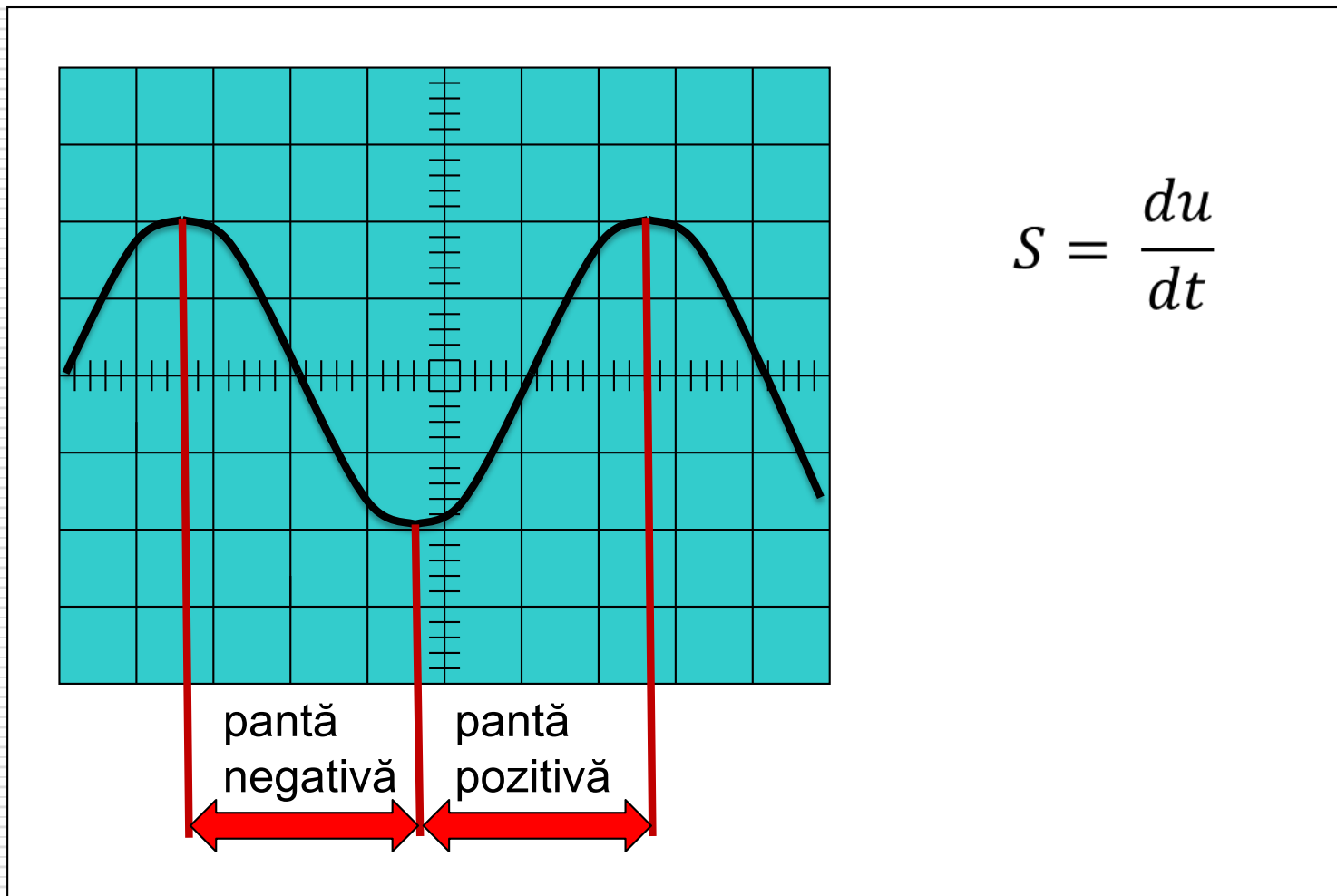
$$A = 2 \text{ div} \times 0,5 \text{ V/div} = 1 \text{ V}$$

Scara orizontală 0,2 ms/div

$$\text{Perioada } T = 6 \text{ div} \times 0,2 \text{ ms/div} = 1,2 \text{ ms}$$

**Observație.** Pentru aceste măsurări osciloscopul – în regim calibrat.

## Noțiunea de pantă a unui semnal (S)



- ☐ Introducere
- ☐ Osciloscopul analogic de uz general
- ☐ Osciloscoape numerice
- ☐ Concluzii



# Osciloscopul analogic de uz general

## Osciloscopul analogic de uz general

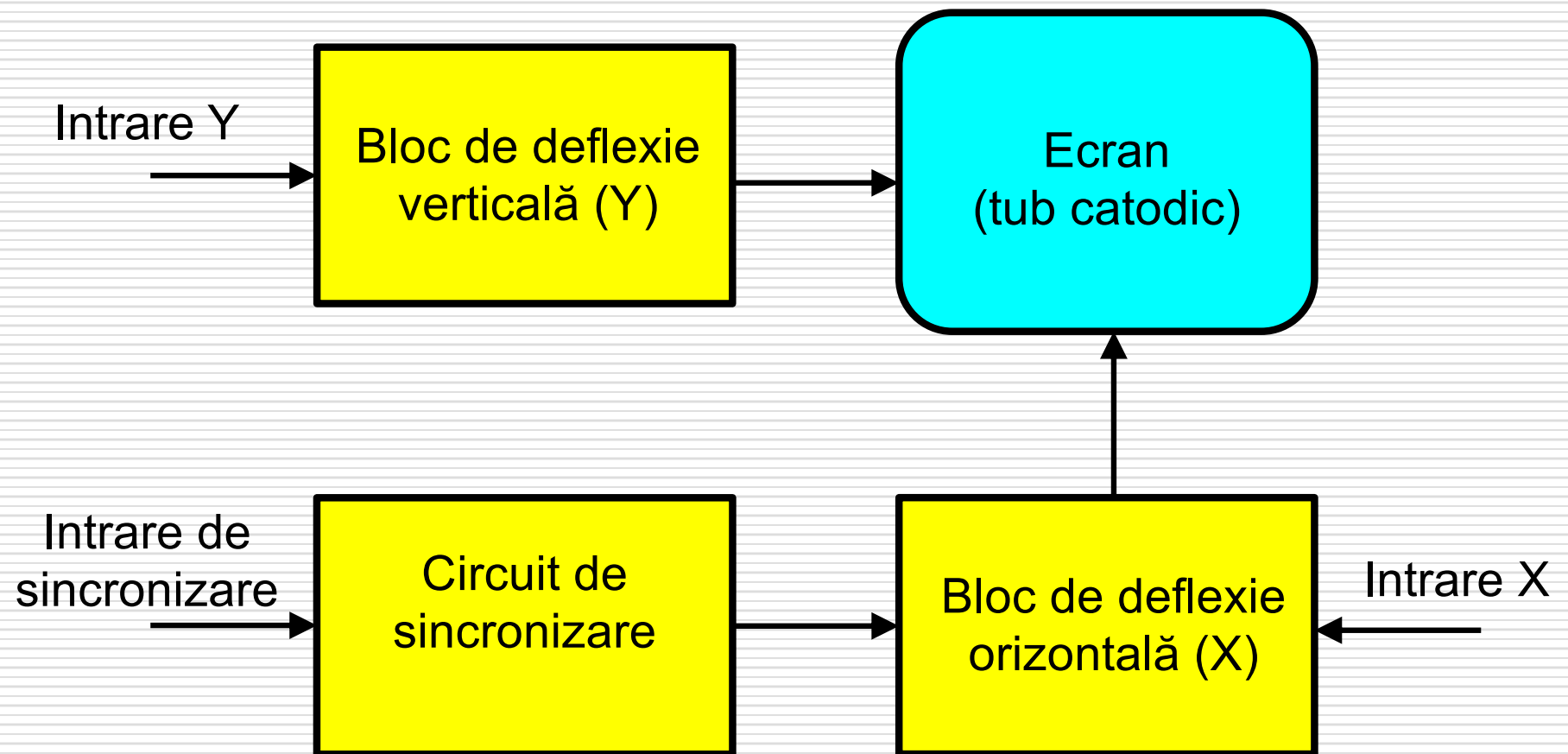
---

- ☐ destinat analizei semnalelor periodice
- ☐ osciloscop în timp real (corespondență biunivocă între punctele imaginii și punctele de pe curba semnalului)

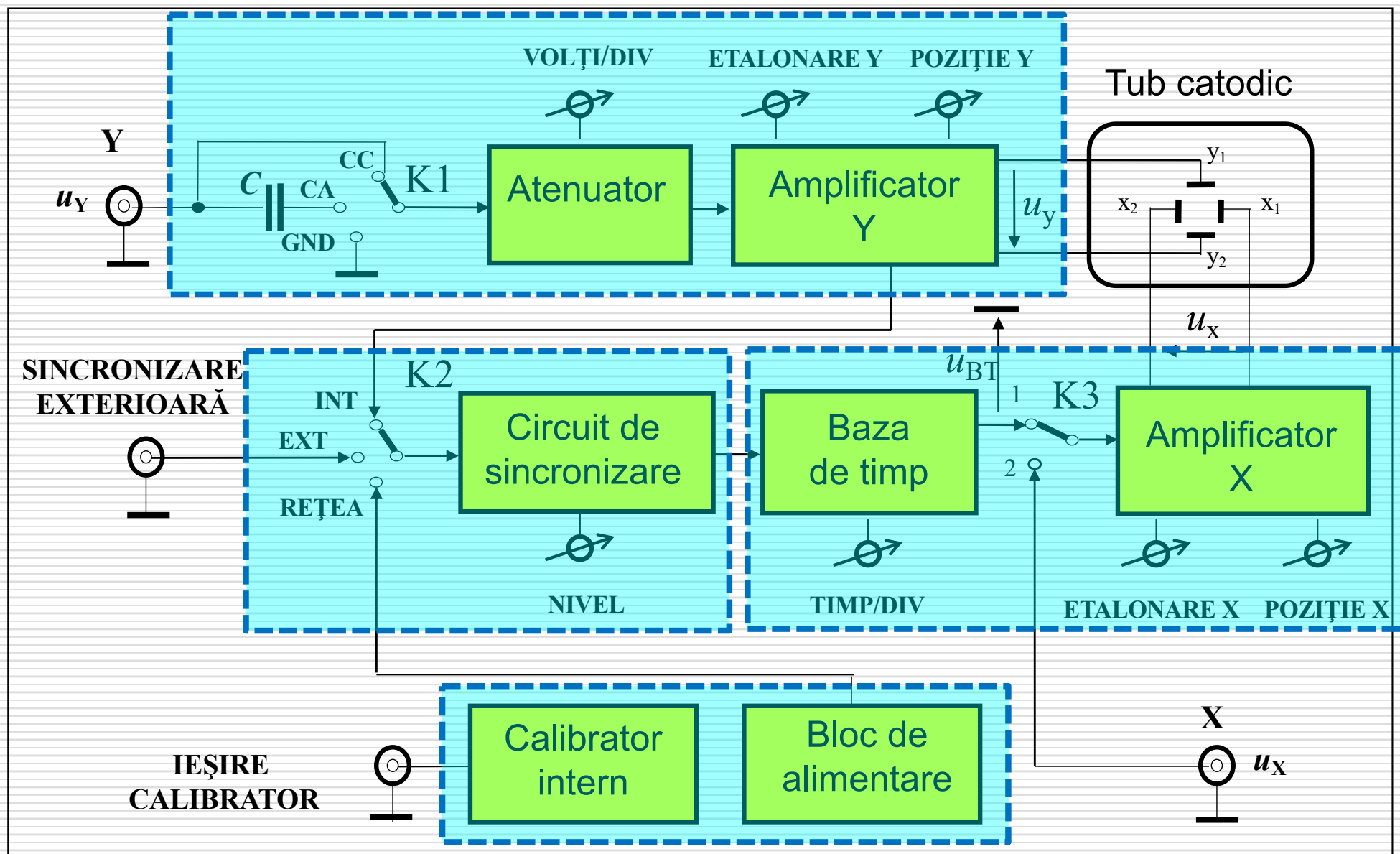
## Osciloscopul analogic de uz general

---

### Schema bloc simplificată



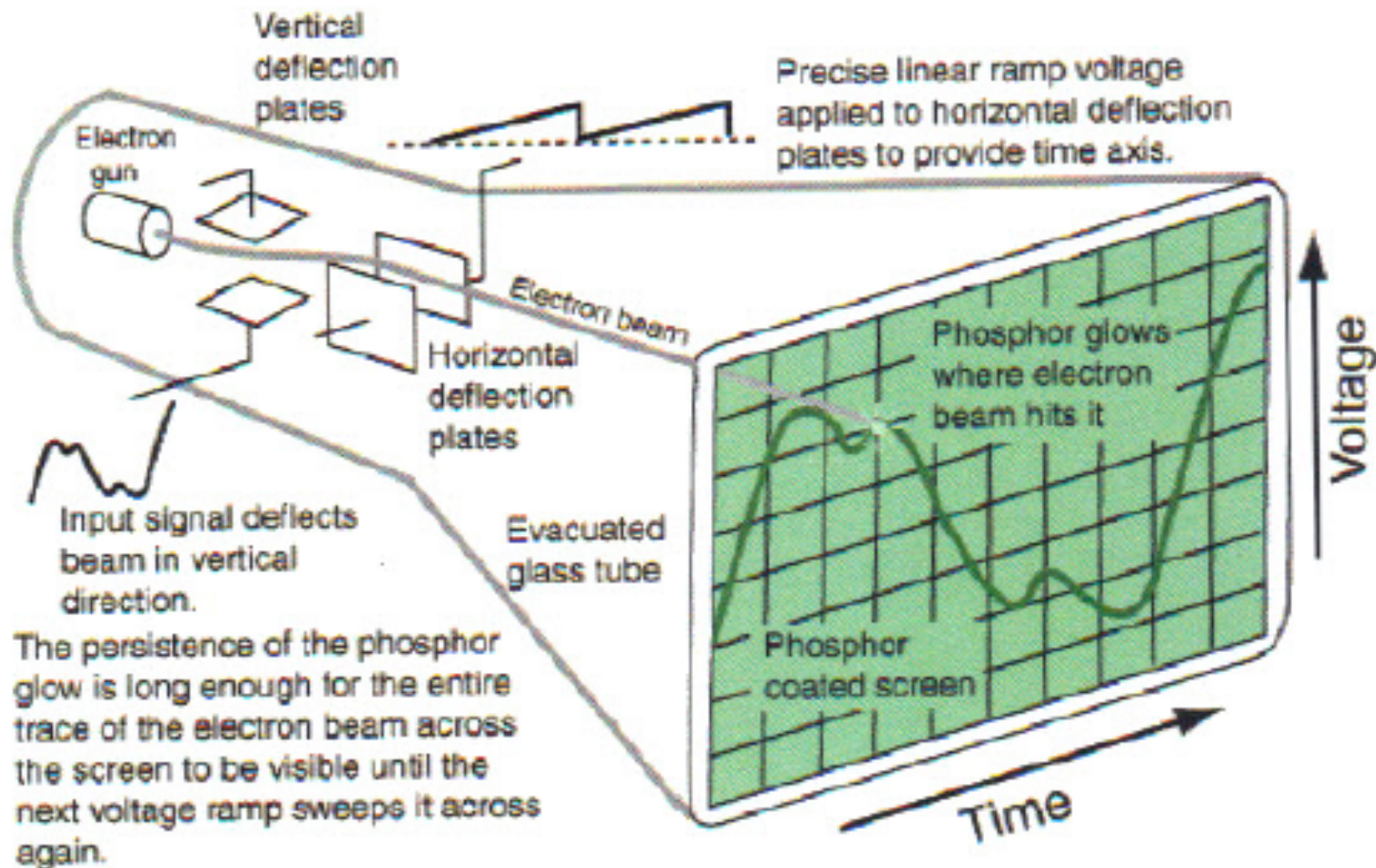
## Osciloscopul analogic de uz general





## Osciloscopul analogic de uz general

### Tubul catodic



Tubul catodic cu deflexie electrostatică

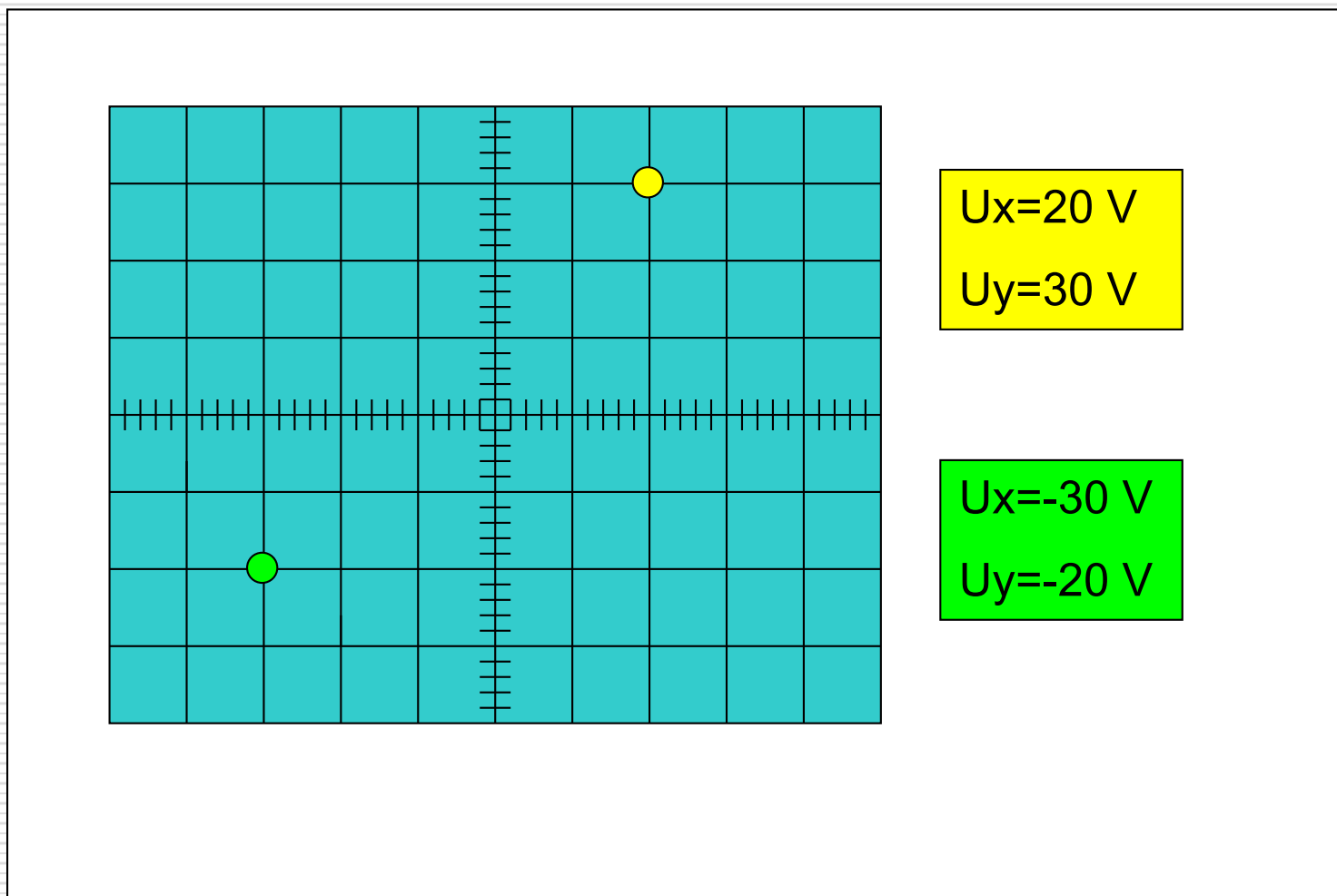
□ construcția imaginii

Pentru a avea pe ecran o imagine stabilă este necesar ca spotul să “deseneze” în mod repetat aceeași curbă.

## Osciloscopul analogic de uz general

---

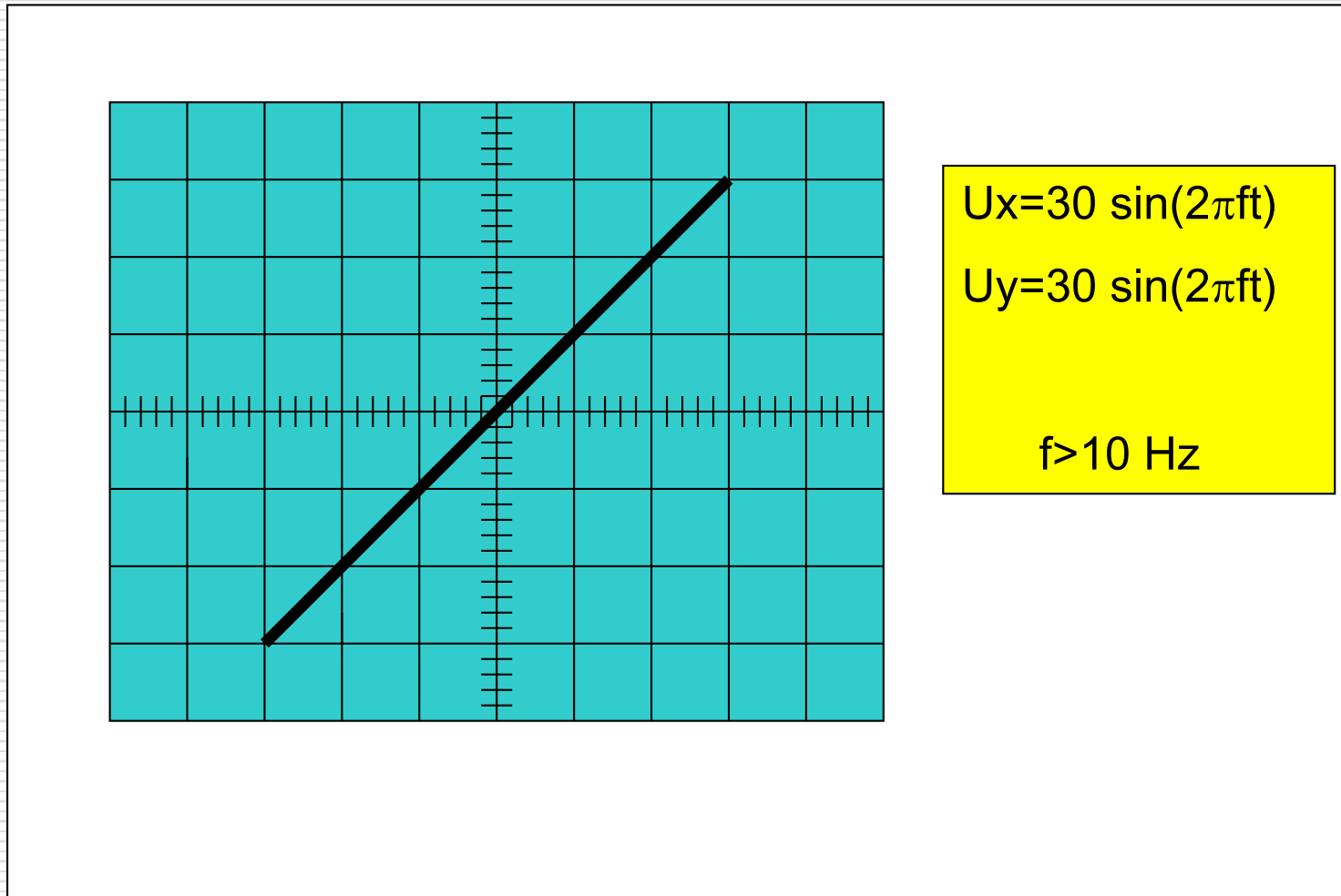
Construcția imaginii (sensibilitățile celor două axe – 10 V/div)



## Osciloscopul analogic de uz general

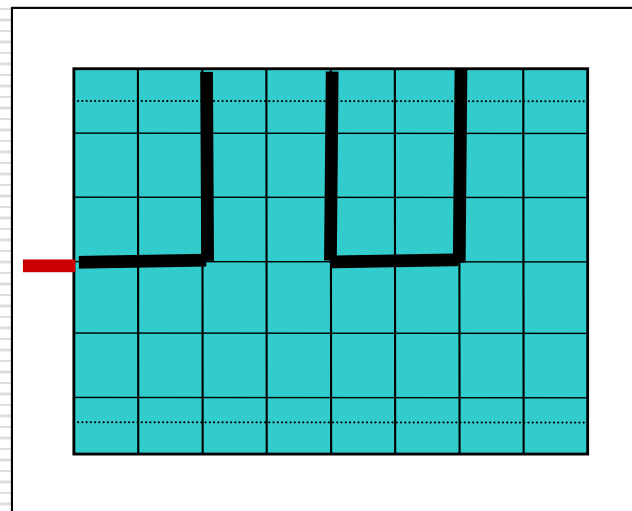
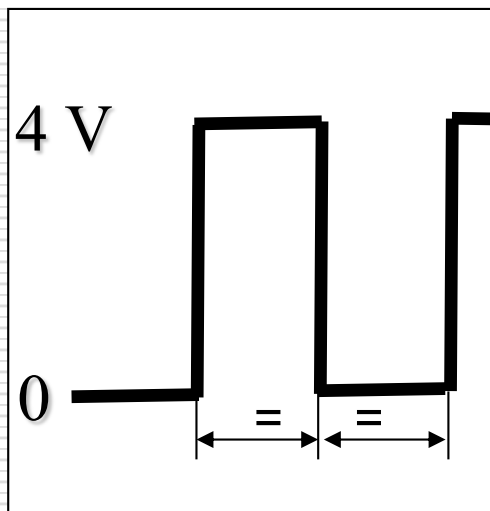
---

Construcția imaginii (sensibilitățile celor două axe – 10 V/div)

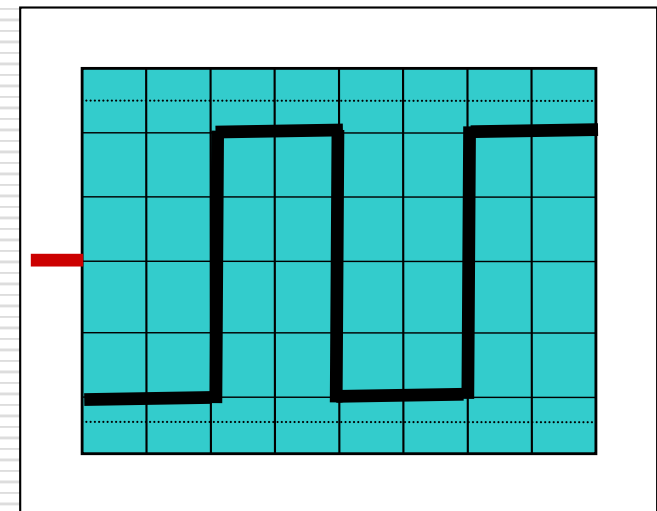


## Osciloscopul analogic de uz general

Diferența între K1 în poziția CC și K1 în poziția CA în cazul unui semnal cu componentă continuă



K1 în poziția CC



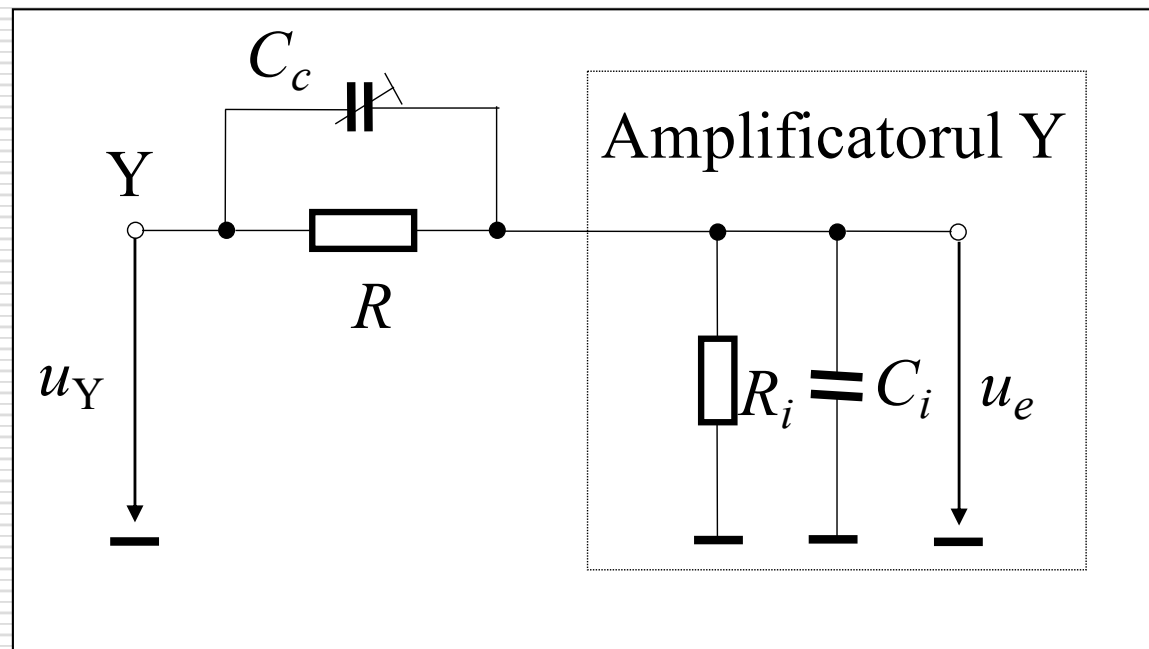
K1 în poziția CA

Comutatorul V/div în poziția 1 V/div.

Nivelul de zero la mijlocul ecranului.

Atenuatorul - divizor mixt  $RC$  compensat cu frecvența; atenuare în trepte (secvența 1-2-5)

Compensare cu frecvența = raport de divizare independent de frecvență



$$K_d = \frac{U_Y}{U_e} = 1 + \frac{R}{R_i}$$

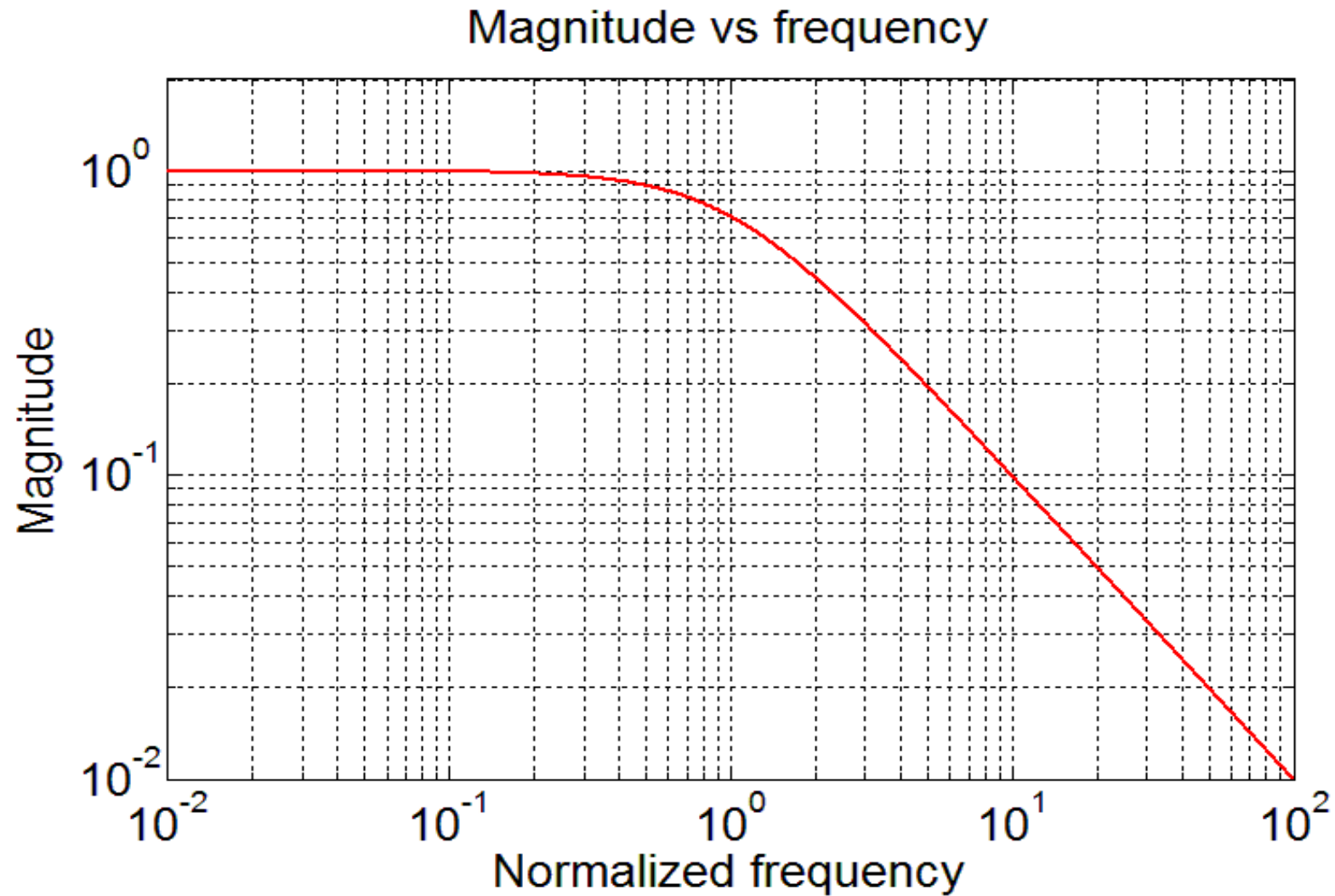
Condiția de compensare

$$RC_c = R_i C_i$$

## Osciloscopul analogic de uz general

---

Banda de frecvențe a osciloscopului – sistem de ordinul I



## Osciloscopul analogic de uz general

---

### Banda de frecvențe a osciloscopului

**La frecvențe apropiate de frecvențele limită ale benzii, amplitudinea observată pe ecran este cu circa 3 dB mai mică decât cea reală !!!**

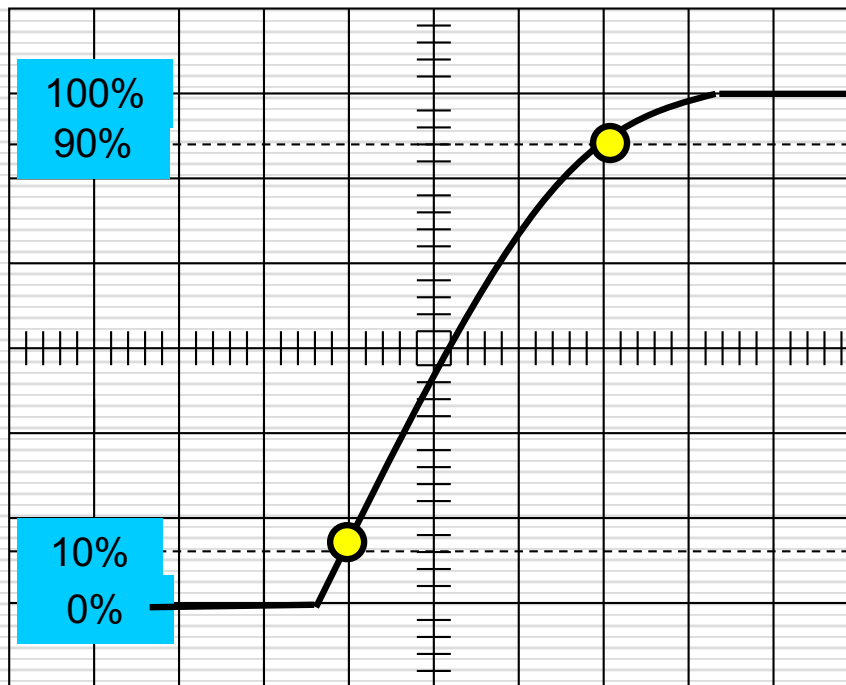
### Eroarea de măsurare în funcție de frecvența semnalului

Frecvența normalizată	$f/f_0$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Amplitudinea normalizată	$1/\sqrt{1+(f/f_0)^2}$	0.995	0.981	0.958	0.928	0.894	0.857	0.819	0.781	0.743	0.707
Eroarea [%]		0.5	2	4	7	10	14	18	22	26	30



## Osciloscopul analogic de uz general

Timpul de creștere al osciloscopului analogic (*rise time*)

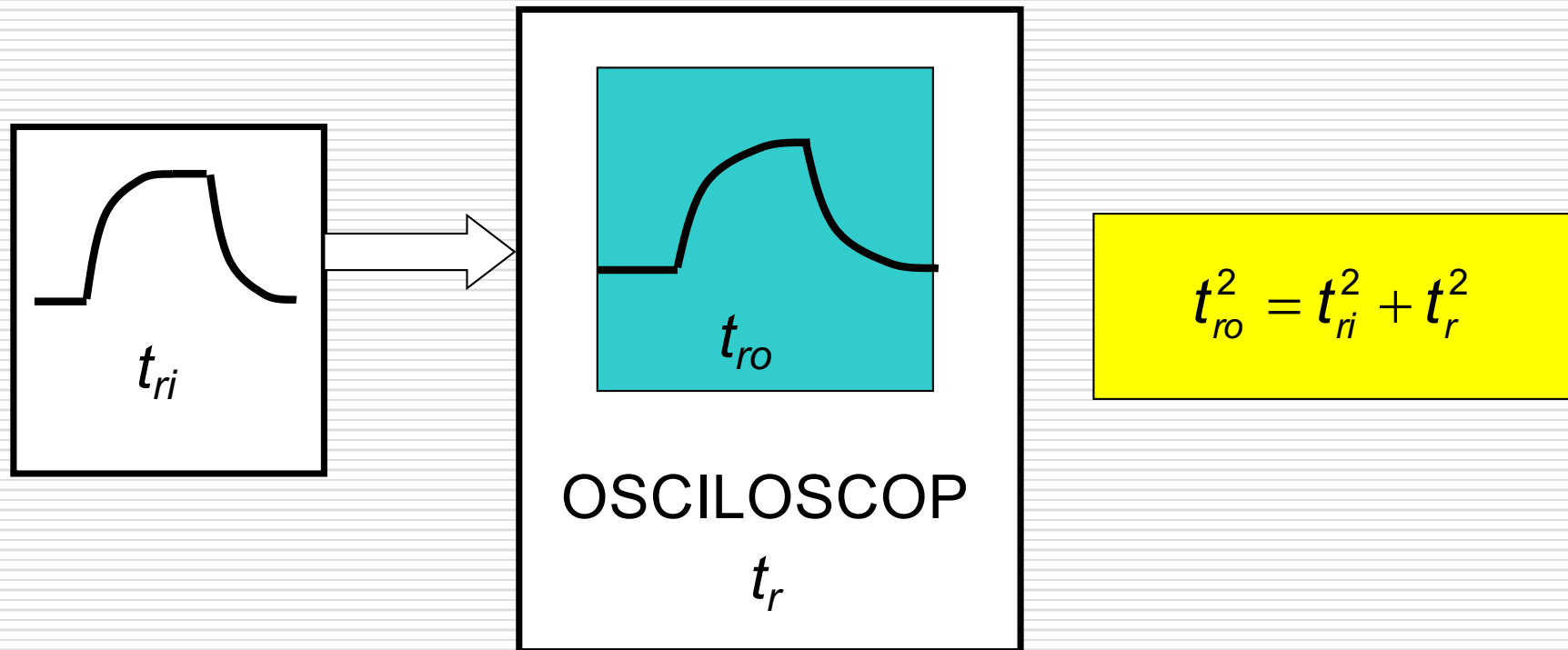


Relația dintre banda de frecvențe și timpul de creștere al osciloscopului

$$t_r(\text{ns}) = \frac{350}{B(\text{MHz})}$$

**Exemplu.** Timpul de creștere al unui osciloscop cu banda de 50 MHz este de 7 ns.

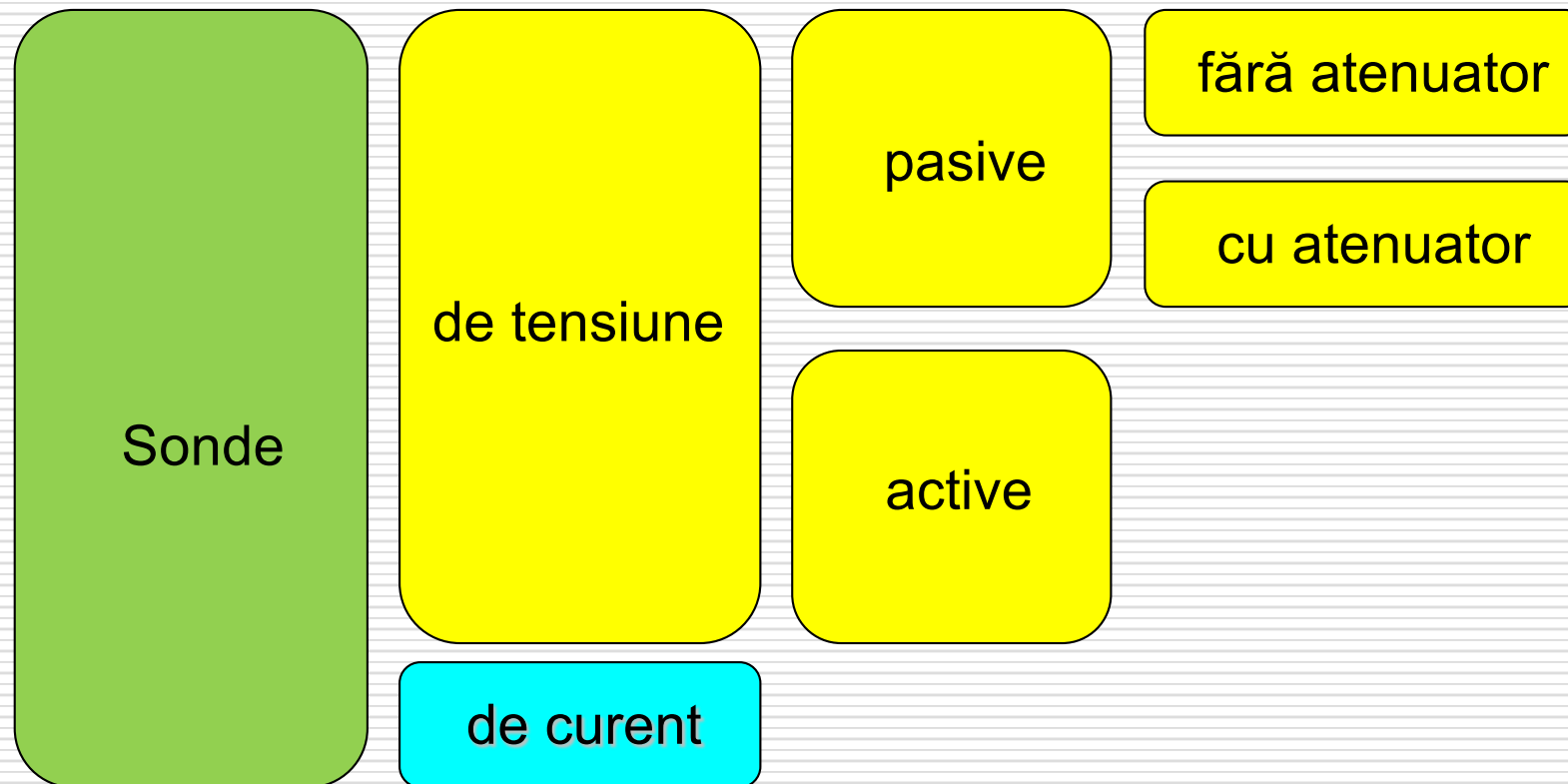
## Osciloscopul deformează fronturile !!!



Dacă  $t_{ri} : t_r \geq 5$ , atunci  $t_{ro} \cong t_{ri}$   
Dacă  $t_r : t_{ri} \geq 5$ , atunci  $t_{ro} \cong t_r$

### Sonda

- elementul care permite aplicarea tensiunii de studiat la intrarea Y, fără ca acest semnal să fie influențat de perturbațiile exterioare



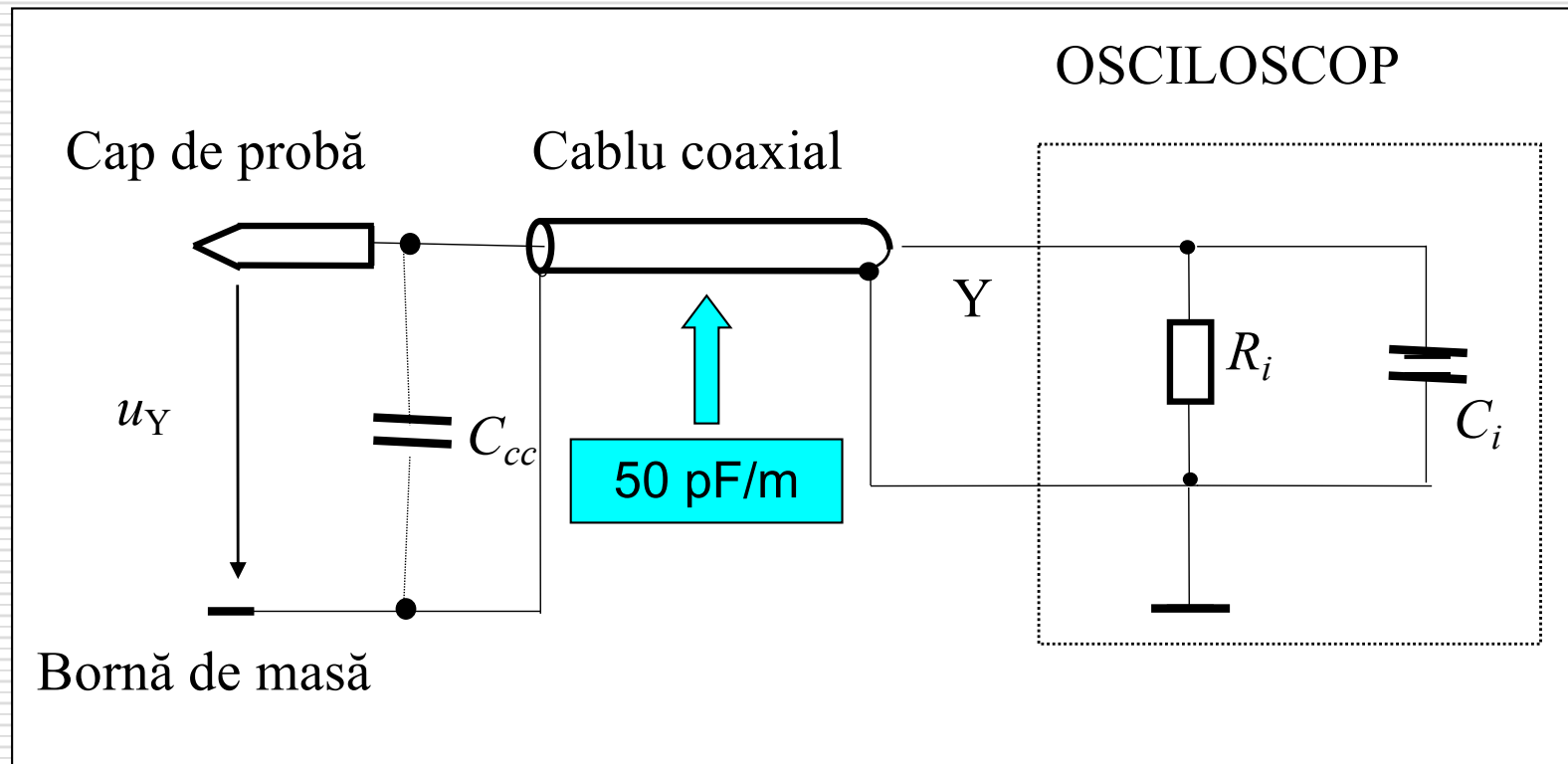
## Osciloscopul analogic de uz general

---

### Sonda



### Sonda (pasivă) fără atenuator (în capul de probă)

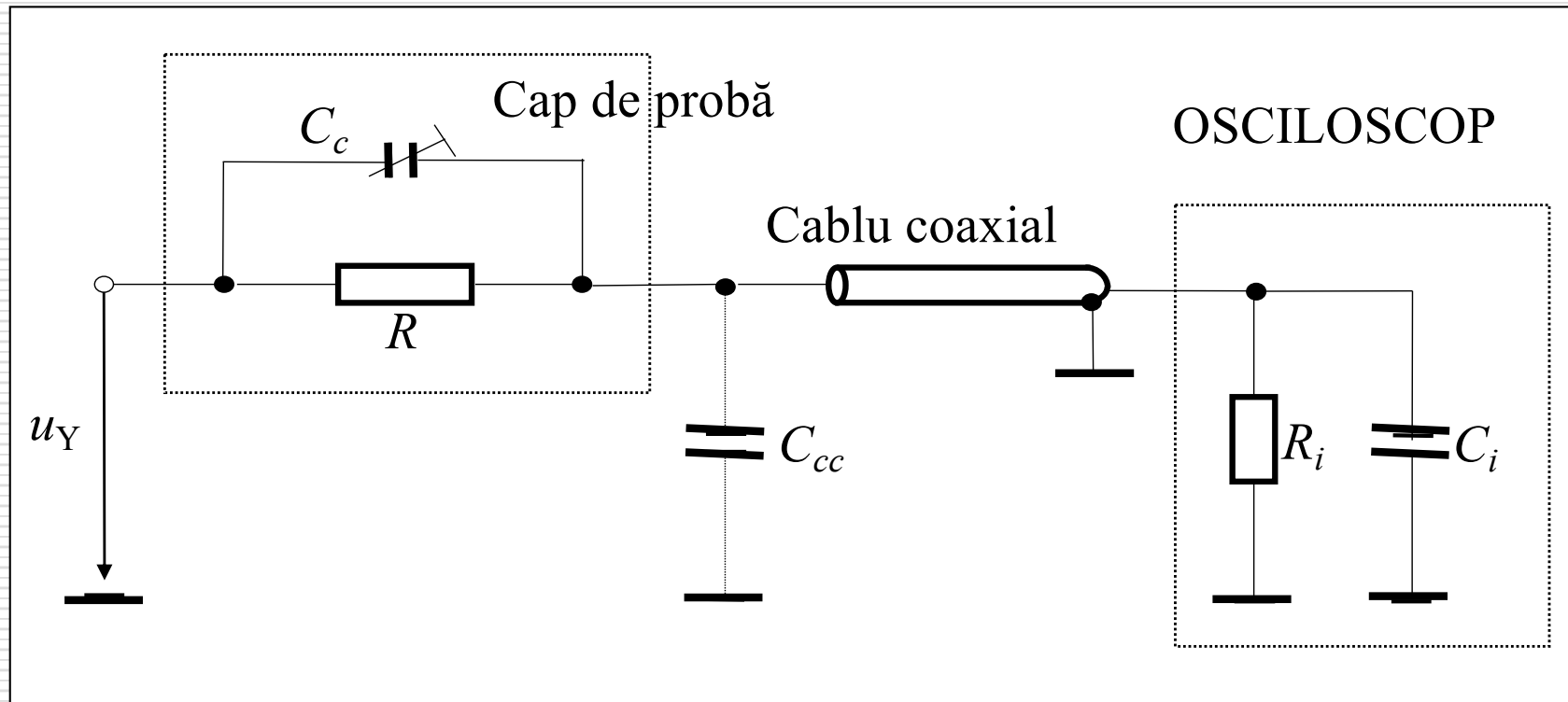


$$R_i = R_{in}$$

$$C_i = C_{in} + C_{cc}$$

## Osciloscopul analogic de uz general

Sonda (pasivă) cu atenuator (în capul de probă) – 10:1, 100:1



$$R_i = R + R_{in}$$

$$C_i = \frac{C_c \cdot (C_{in} + C_{cc})}{C_c + C_{in} + C_{cc}}$$

### Sonde cu și fără atenuator - comparație

#### Sonda fără atenuator

- ❑ avantaj - nu atenuează semnalul
- ❑ dezavantaje - rezistență de intrare mică ( $1\text{ M}\Omega$ ), capacitate de intrare mare ( $50 - 150\text{ pF}$ )

#### Sonda cu atenuator

- ❑ avantaje - rezistență de intrare mare ( $10\text{ M}\Omega$ ,  $100\text{ M}\Omega$ ), capacitate de intrare mică ( $5 - 15\text{ pF}$ ,  $1-2\text{ pF}$ )
- ❑ dezavantaj - atenuează semnalul; ca urmare, valoarea citită pe ecran trebuie înmulțită cu raportul de atenuare ( $10$ ,  $100$ )

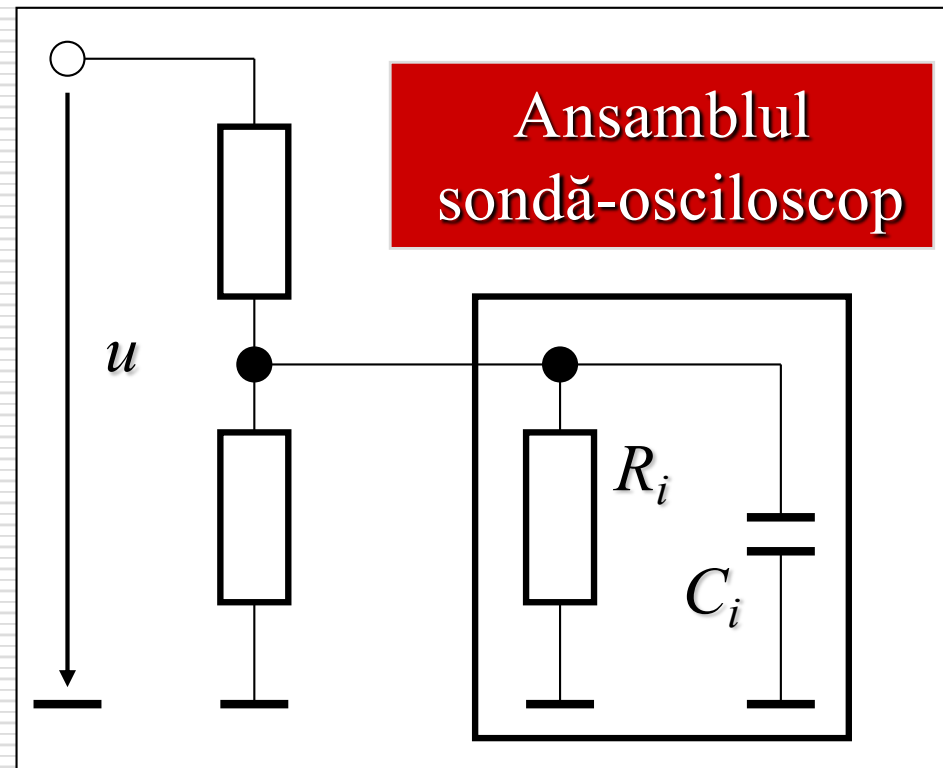
### Sonde cu și fără atenuator – aplicație

Un osciloscop are  $R_{in}=1\text{ M}\Omega$  și  $C_{in}=30\text{ pF}$ . Cablul coaxial utilizat pentru sondă are o capacitate parazită de  $50\text{ pF/m}$ . Să se calculeze elementele impedanței de intrare a osciloscopului în cazul unei sonde fără și cu atenuator 10:1, la o lungime  $\ell=1,5\text{ m}$  a cablului coaxial.



Osciloscopul, conectat într-un circuit, încarcă circuitul ca o impedanță formată dintr-un rezistor în paralel cu un condensator.

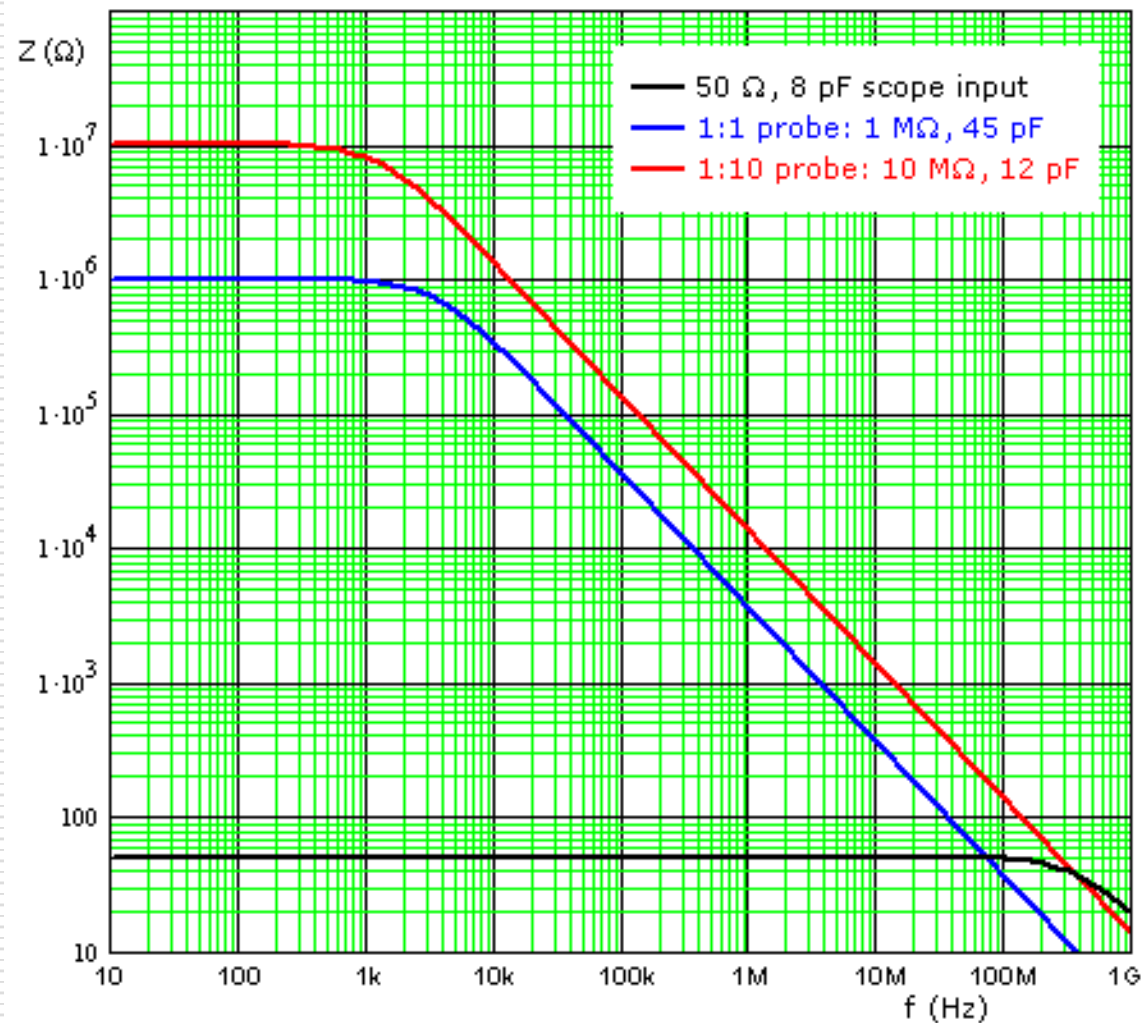
- rezistența de intrare - rezistența echivalentă a ansamblului sondă-osciloscop
- capacitatea de intrare - capacitatea echivalentă a ansamblului sondă-osciloscop



### Aplicație

Ansamblul sondă – osciloscop prezintă o rezistență de intrare de  $1\text{ M}\Omega$  și o capacitate de intrare de  $160\text{ pF}$ . Să se determine modulul impedanței de intrare a ansamblului la frecvențele de  $10\text{ Hz}$ , respectiv  $10\text{ MHz}$ .

### Variația cu frecvența a modulului impedanței



### Calibratorul intern

- ☐ furnizează una sau mai multe tensiuni dreptunghiulare cu valoarea vârf la vârf și frecvența de repetiție cunoscute cu precizie acceptabilă (sub 1%), pentru calibrarea celor două axe ale osciloscopului.
- ☐ de ce tensiune dreptunghiulară?

**Măsurările cantitative cu osciloscopul se efectuează numai în regim calibrat !!!**

Excepție: la măsurarea timpului de creștere, pentru a aduce amplitudinea (fixă) a semnalului între limitele 0 și 100% ale carioajului poate fi chiar necesară decalibrarea axei verticale.

## Osciloscopul analogic de uz general

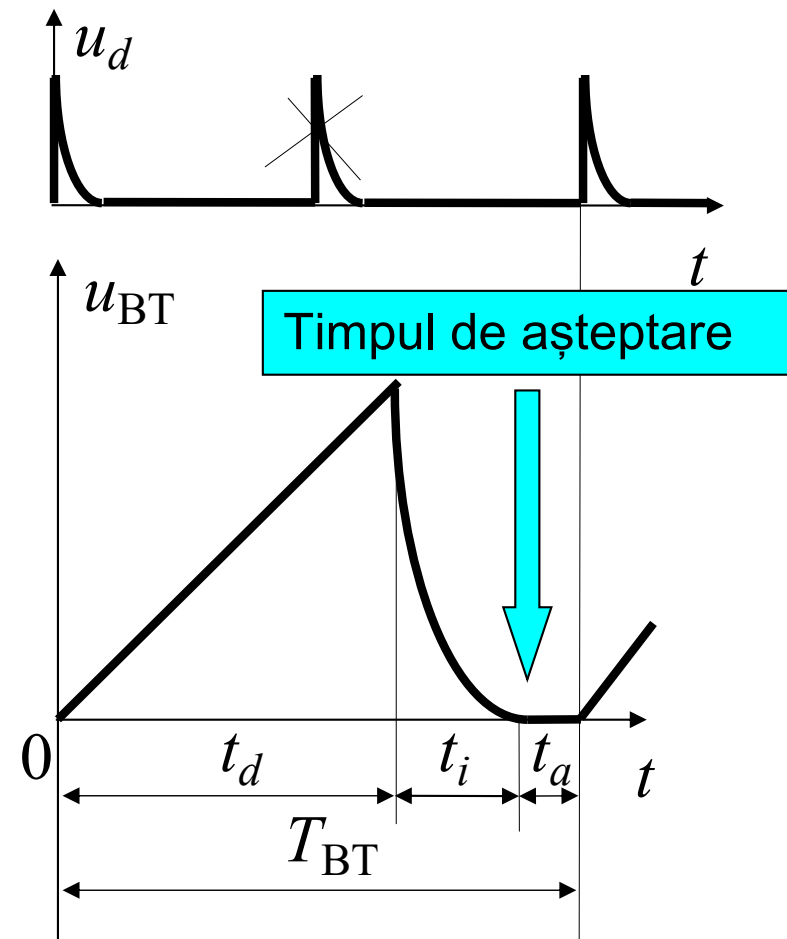
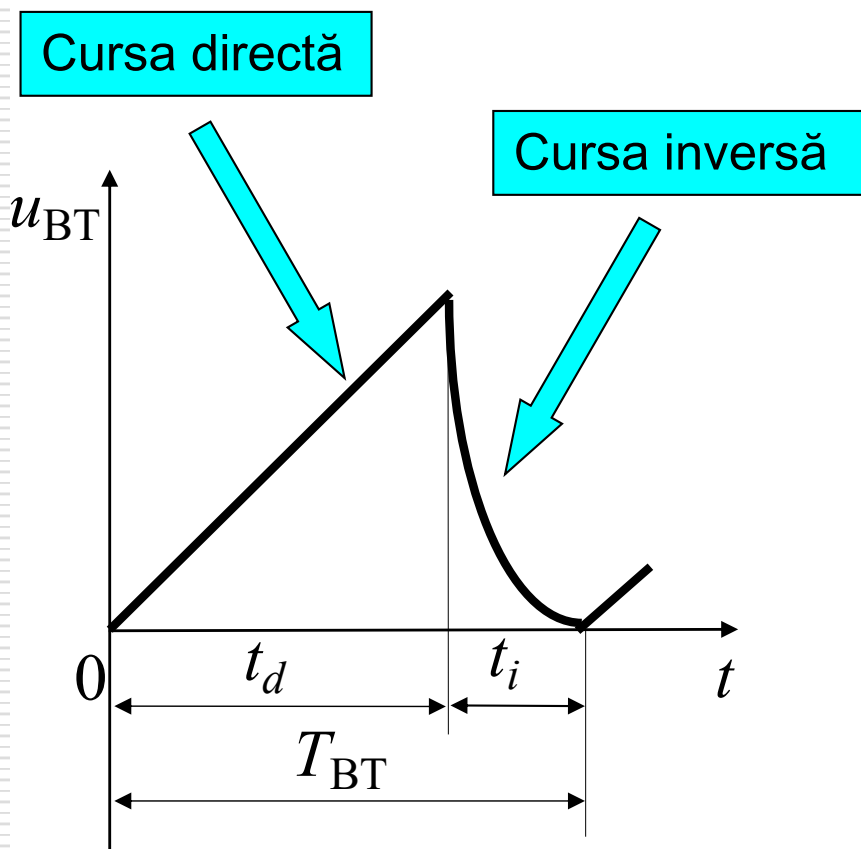
---

### Blocul de deflexie orizontală

- cuprinde baza de timp și amplificatorul X

Baza de timp generează o tensiune în formă de dinți de fierăstrău, necesară vizualizării variației în timp a tensiunii  $u_Y$ .

### Baza de timp - funcționarea în regim relaxat și declanșat



### Circuitul de sincronizare

- permite obținerea unei imagini stabile pe ecranul tubului catodic
- în esență este un comparator care sesizează momentele în care semnalul de vizualizat depășește nivelul de sincronizare.

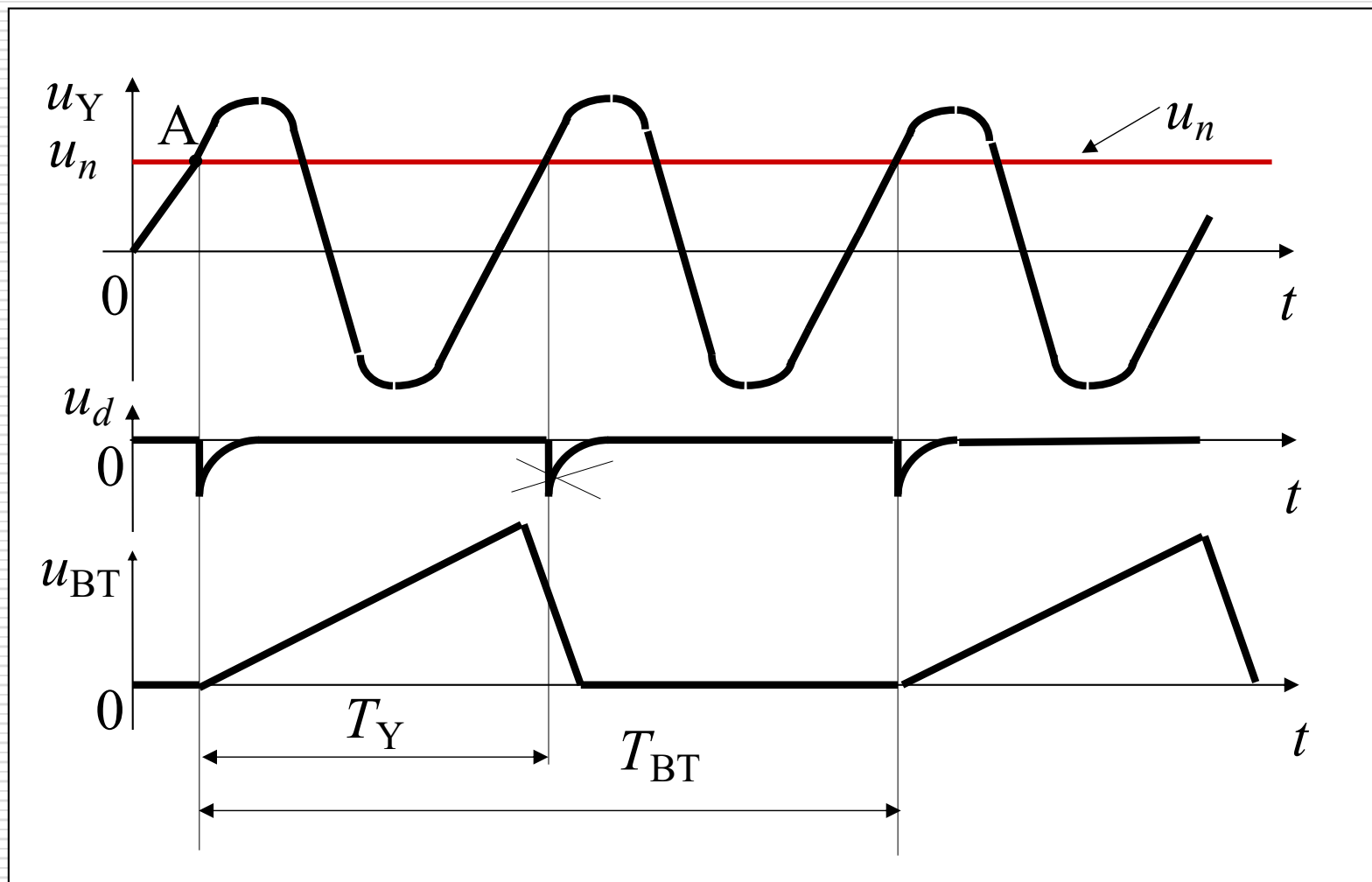
### Condiția de sincronizare

$$T_{BT} = kT_Y$$

**Perioada tensiunii bază de timp trebuie să fie un multiplu al perioadei tensiunii de vizualizat.**

## Osciloscopul analogic de uz general

### Diagrame de timp pentru circuitul de sincronizare





## Osciloscopul analogic de uz general

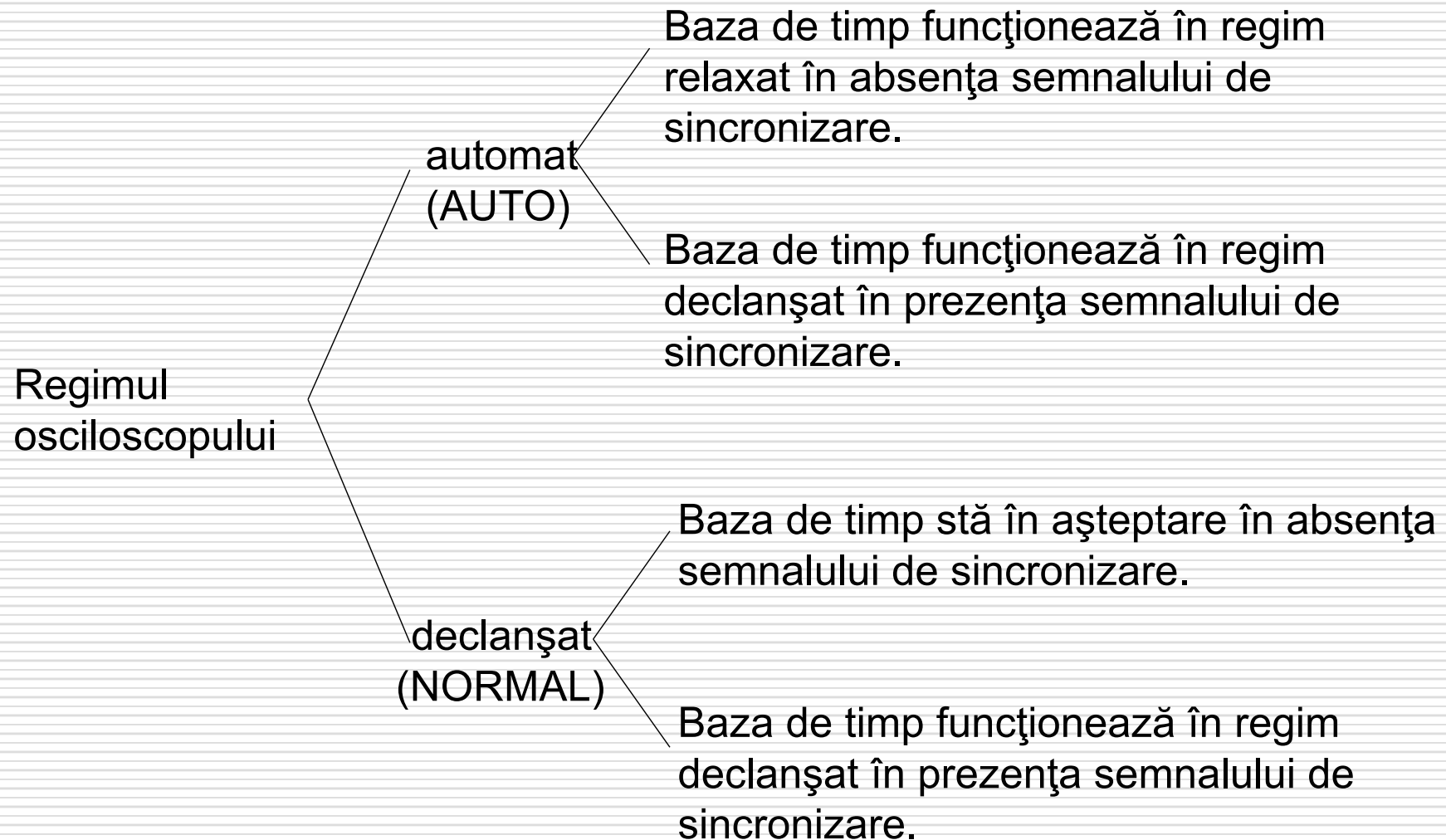
---

Circuitul de sincronizare

Simulare în LabVIEW

## Osciloscopul analogic de uz general

---



### Circuitul de sincronizare

- ☐ comutator pentru alegerea modului de sincronizare (intern, extern, cu rețeaua de alimentare, cu impulsurile de sincronizare TV)
- ☐ comutator pentru alegerea între regimul automat și cel declanșat
- ☐ comutator pentru alegerea pantei pe care se face sincronizarea
- ☐ potențiometrul pentru stabilirea nivelului de sincronizare
- ☐ potențiometrul pentru « hold-off »

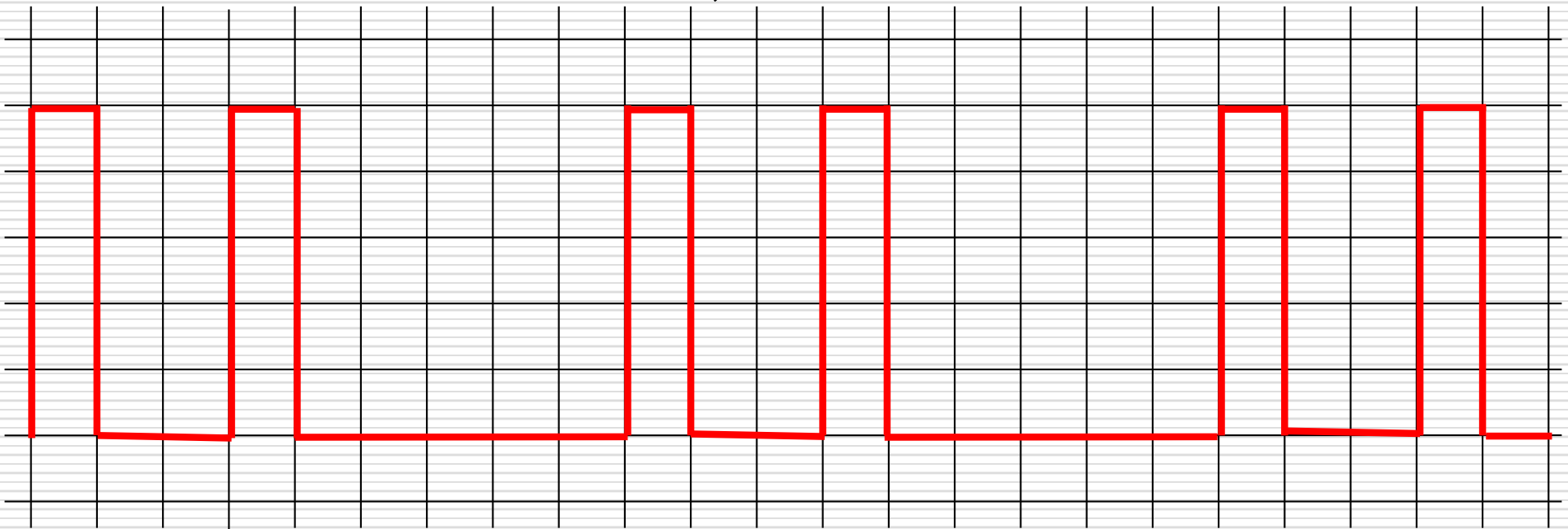
### Potențiometrul « hold-off »

- ☐ permite ajustarea timpului de așteptare astfel încât să se poată obține imagini corecte chiar și în cazul unor semnale complexe.

## Osciloscopul analogic de uz general

---

Exemplu. Semnalul din figură are perioada de 9 ms și amplitudinea de 5 V. Să se deseneze imaginea care apare pe ecranul unui osciloscop fără reglaj de hold-off, aflat în regim declanșat intern, pe front pozitiv, comutatoarele fiind poziționate pe 2 V/div, respectiv 1 ms/div. Ecranul osciloscopului are 10 diviziuni pe orizontală și 8 pe verticală. Durata cursei directe corespunde celor 10 diviziuni orizontale, iar a celei inverse unei diviziuni.

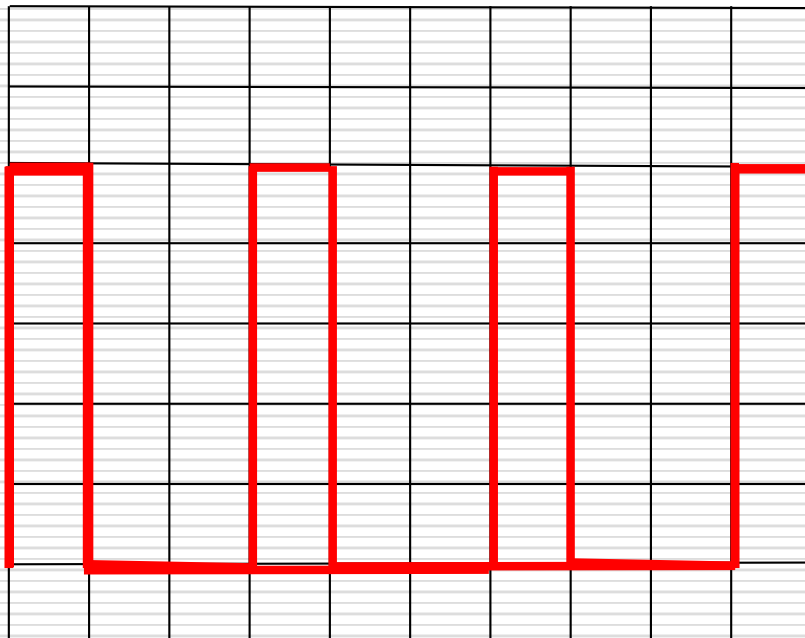


## Osciloscopul analogic de uz general

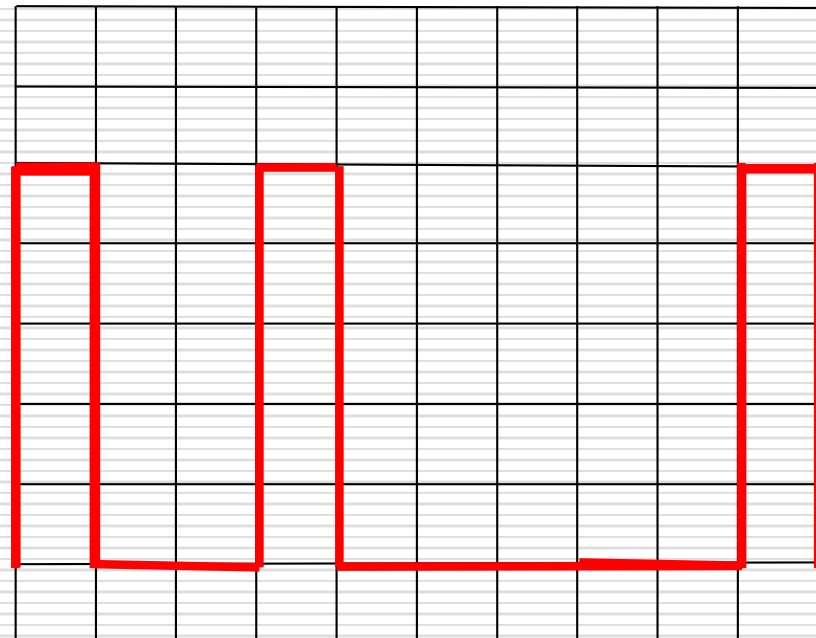
---

### Imaginea de pe ecran

fără hold-off (cu potențimetrul la minim)



cu potențimetrul reglat corespunzător



- ☐ Introducere
- ☐ Osciloscopul analogic de uz general
- ☐ Osciloscoape numerice
- ☐ Concluzii



# Oscilloscope numerice



## Osciloscoape numerice

---

### Osciloscoape numerice

- ☐ eșantionează tensiunea de vizualizat
- ☐ eșantioanele sunt convertite în formă numerică, memorate și prelucrate, pentru a fi aplicate dispozitivului de afișare al osciloscopului

### Caracteristici

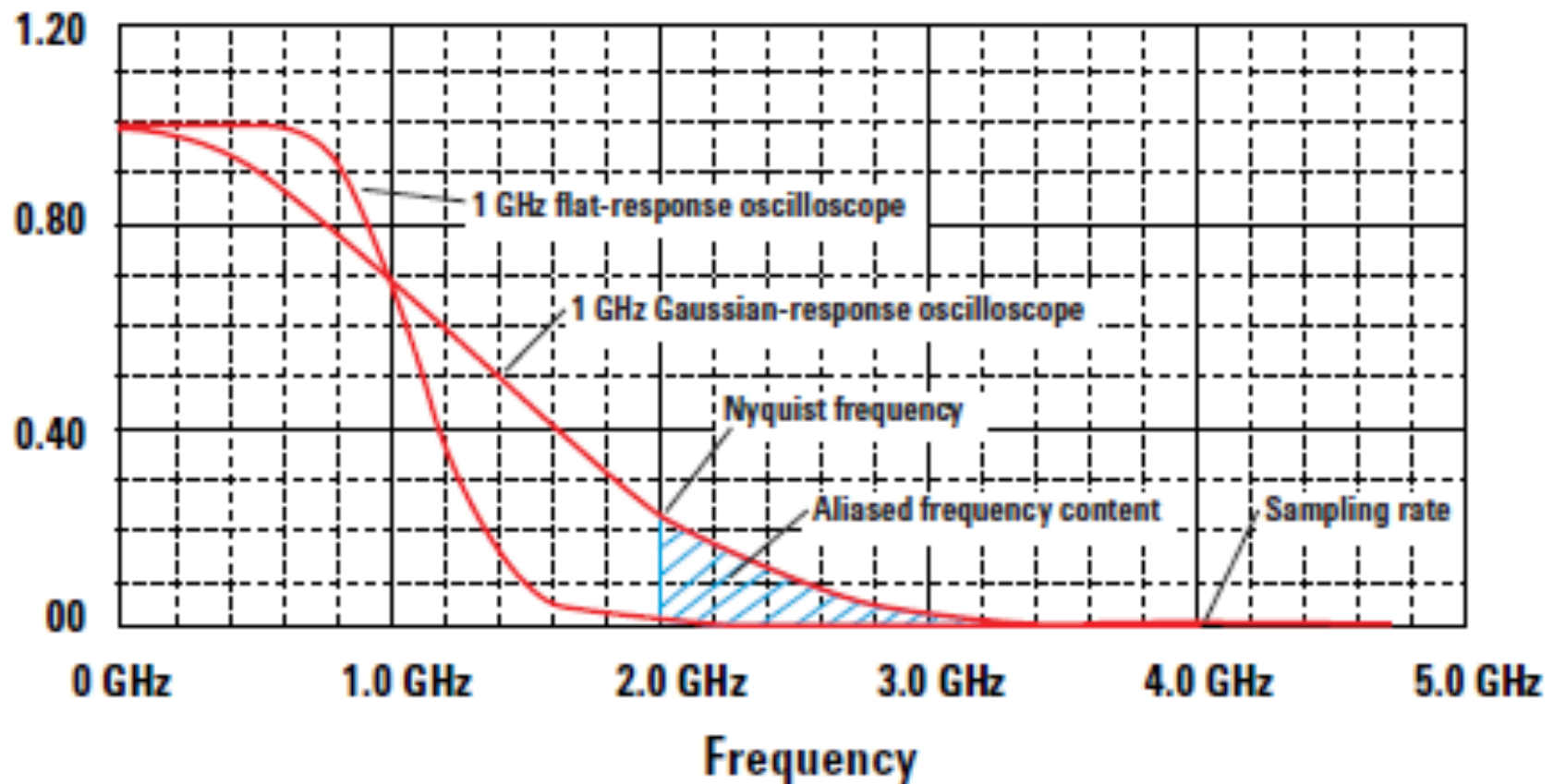
- ☐ sunt osciloscoape cu eșantionare
- ☐ posibilități extinse de măsurare, sincronizare și prelucrare a semnalelor
- ☐ precizie superioară

**atenție!**

## Osciloscopae numerice

### Caracteristici

- ❑ multe osciloscopae numerice au un răspuns în frecvență de tip maxim plat



### Caracteristici

- relația între timpul de creștere și banda de frecvențe

$$t_r(\text{ns}) = \frac{400 - 500}{B(\text{MHz})}$$

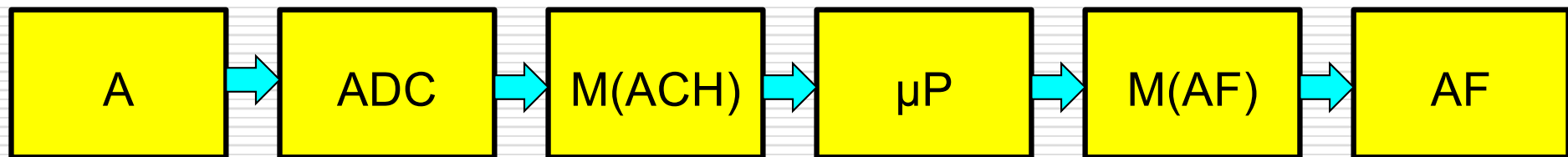
### APLICAȚIE

Două osciloscoape numerice cu banda de frecvențe de 1 GHz eșantionează cu frecvența de 4 GHz. Răspunsul în frecvență este gaussian pentru primul și maxim plat pentru cel de-al doilea, conform caracteristicilor de frecvență prezentate. Să se precizeze cum este redat de către cele două osciloscoape un semnal sinusoidal cu amplitudinea de 2 V și frecvența de 2,4 GHz.

### Tipuri de osciloscoape numerice

- ❑ Osciloscoape cu memorare numerică  
(Digital Storage Oscilloscope - DSO)
- ❑ Osciloscoape cu fosfor numeric  
(Digital Phosphor Oscilloscope - DPO)
- ❑ Osciloscoape numerice cu eșantionare  
(Digital Sampling Oscilloscope)

### Osciloscopul cu memorare numerică (Digital Storage Oscilloscope)



A – atenuator plus amplificator

ADC – convertor analog-numeric

M(ACH) – memorie pentru achiziție

$\mu P$  – microprocesor

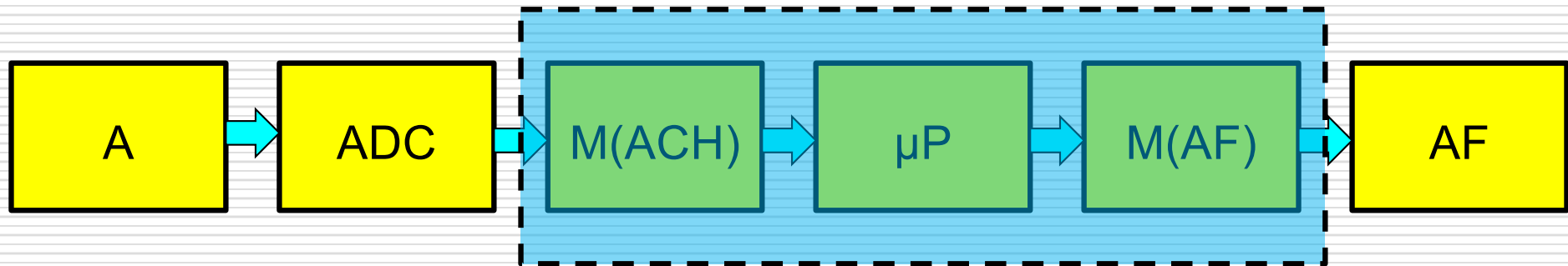
M(AF) – memorie pentru afișaj

AF – afișaj

### Osciloscopul cu memorare numerică (Digital Storage Oscilloscope)

- ☐ A – atenuator plus amplificator: același rol ca la osciloscopul analogic
- ☐ ADC – convertor analog-numeric: eșantionează semnalul de vizualizat și îl convertește sub formă numerică
- ☐ M(ACH) – memorie pentru achiziție: memorează eșantioanele
- ☐  $\mu$ P – microprocesor: prelucrează eșantioanele, comandă afișajul, gestionează comenzile de pe panoul frontal ș.a.
- ☐ M(AF) – memorie pentru afișaj: memorează eșantioanele prelucrate
- ☐ AF – afișaj: panou LCD/LED/TFT; afișează semnalul (reconstituit); comandă matricial fiecare pixel (x, y).

### Osciloscopul cu memorare numerică (Digital Storage Oscilloscope)

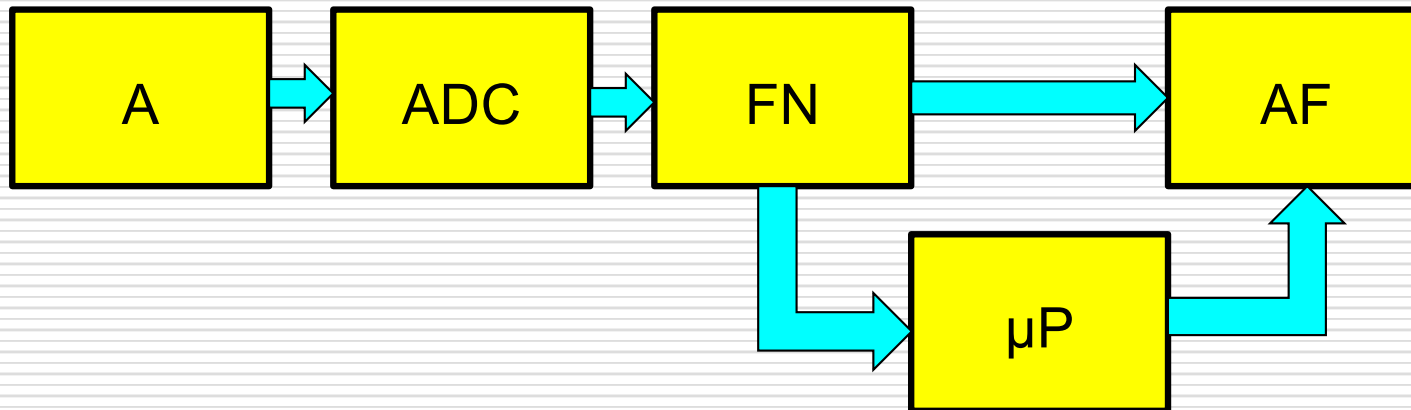


#### Dezavantaje

- ☐ timp de hold-off inherent mare, datorat blocurilor de prelucrare numerică; ca urmare, viteză redusă de actualizare a imaginii
- ☐ luminozitate a imaginii insensibilă la frecvența de repetiție



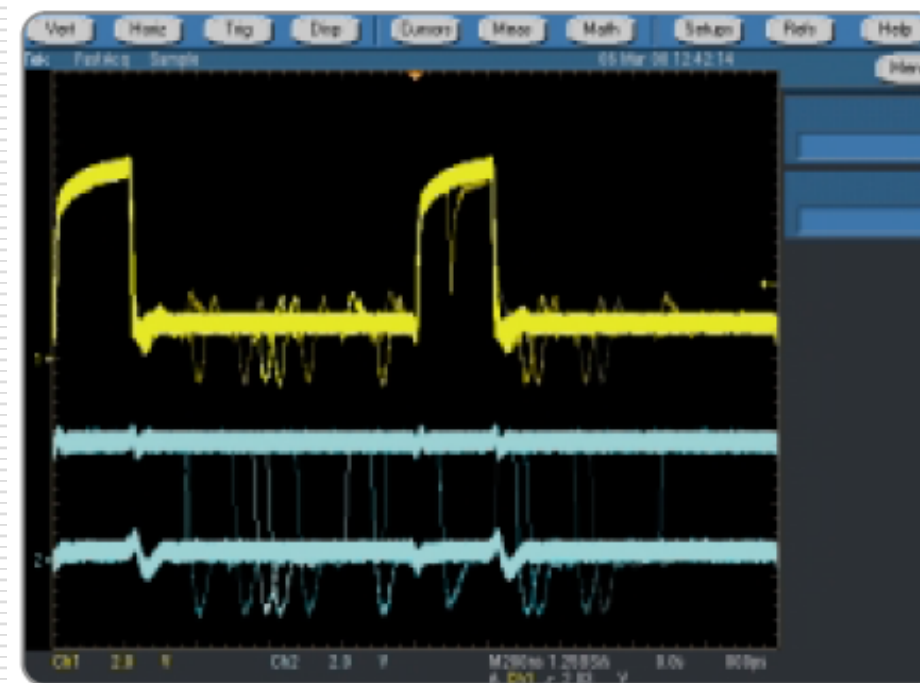
### Osciloscopul cu fosfor numeric (Digital Phosphor Oscilloscope)



- ❑ A, ADC,  $\mu$ P, AF – aceleași semnificații ca la DSO
- ❑ FN – “Fosfor Numeric”; memorie care are celule de informație pentru fiecare pixel al afișajului; conținutul memoriei este transferat afișajului o dată la circa 30 ms, realizându-se prin aceasta o actualizare rapidă a informației.

### Osciloscopul cu fosfor numeric (Digital Phosphor Oscilloscope)

- ❑ deosebire esențială față de DSO – “Fosforul Numeric” redă, prin intensitatea și/sau culoarea trasei, frecvența de repetiție a unui anumit fenomen



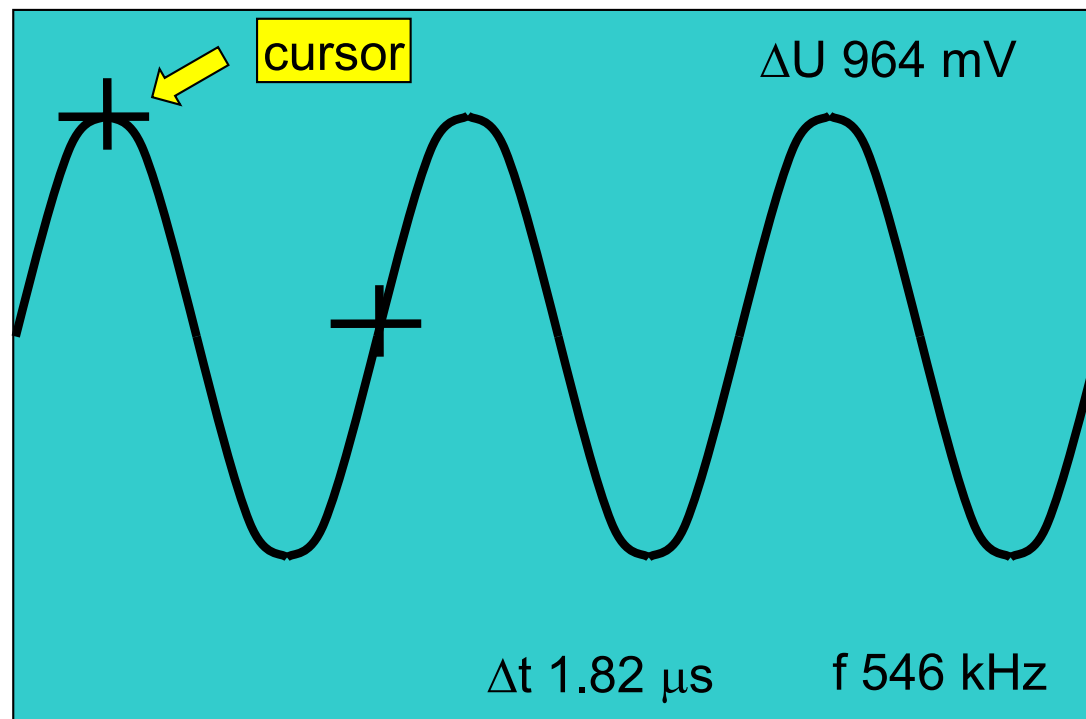
### Facilități oferite de osciloscoapele numerice

- ☐ aparat de măsurat universal
- ☐ cursoare pe ecran, pentru determinarea simplă a valorilor de interes
- ☐ zoom
- ☐ predeclanșare
- ☐ bază de timp în salve
- ☐ eșantionare adaptivă, pentru economie de memorie
- ☐ FFT (analizor de spectru)
- ☐ posibilități de cuplare la un calculator sau la un înregistrator grafic

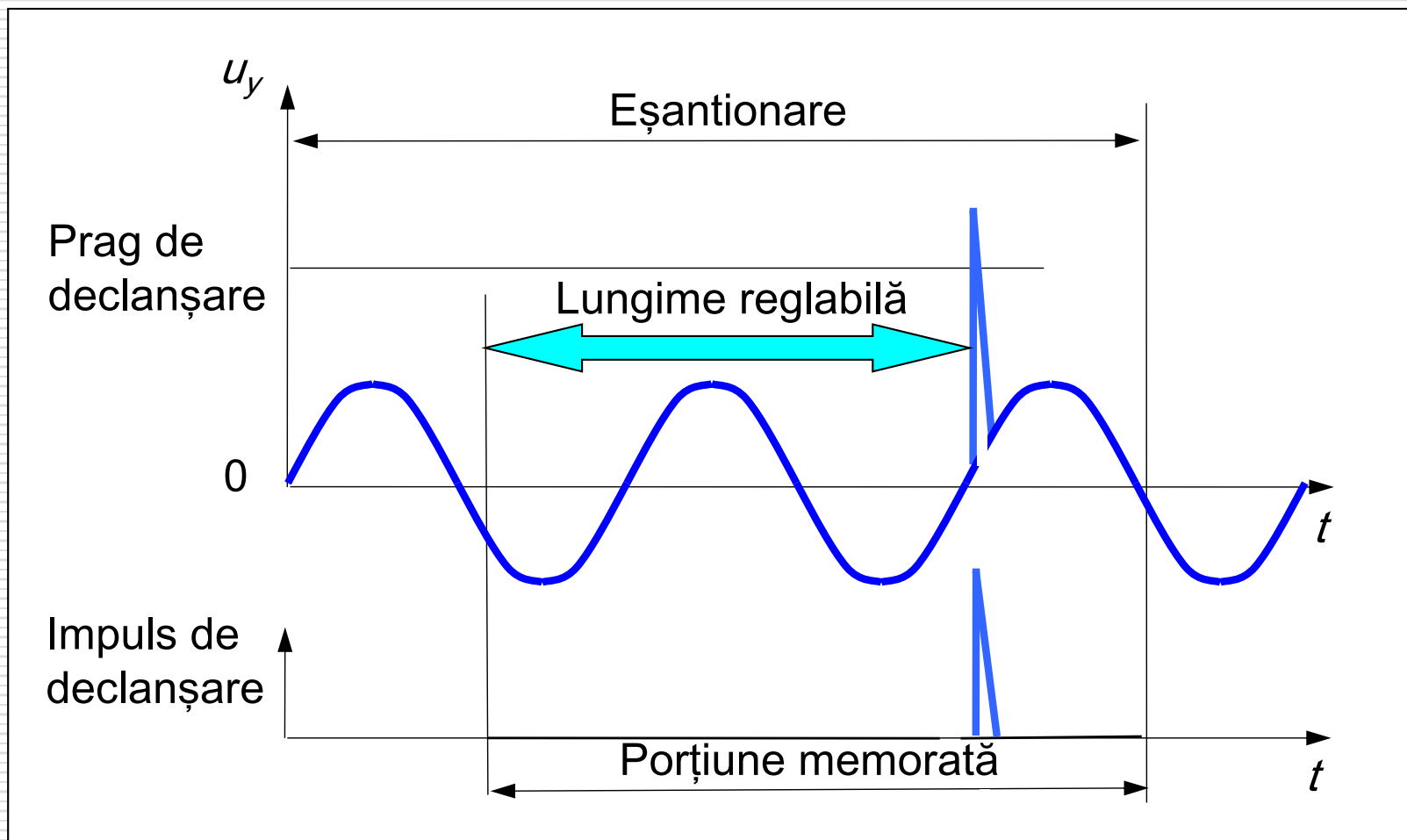
## Oscilloscoape numerice

---

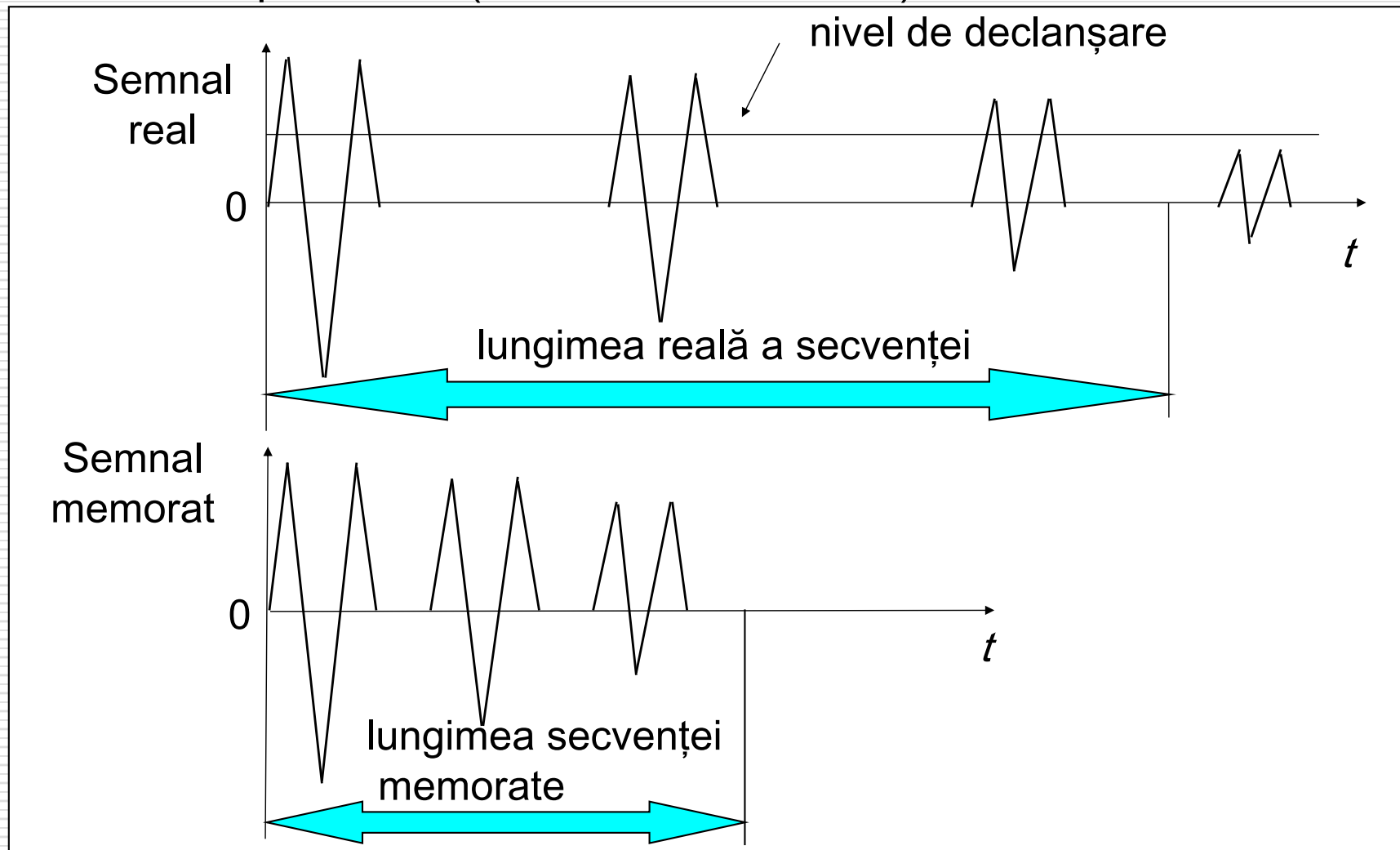
### Cursoare pe ecran



### Predeclanșare (PRETRIGGER)



### Bază de timp în salve (BURST TIME BASE)



- ☐ Introducere
- ☐ Osciloscopul analogic de uz general
- ☐ Osciloscoape numerice
- ☐ Concluzii

### Criterii de alegere a unui osciloscop

- ☐ analogic sau numeric
- ☐ banda de frecvențe
- ☐ rata de eșantionare
- ☐ adâncimea memoriei
- ☐ rata de înprospătare a afișajului
- ☐ posibilitățile de trigger
- ☐ rezoluția ecranului



## Concluzii

---

- ☐ osciloscopul - aparat indispensabil în practica electronică
- ☐ măsurări cantitative asupra semnalelor - numai în regim calibrat
- ☐ alegerea între analogic și numeric - în funcție de cerințele aplicației